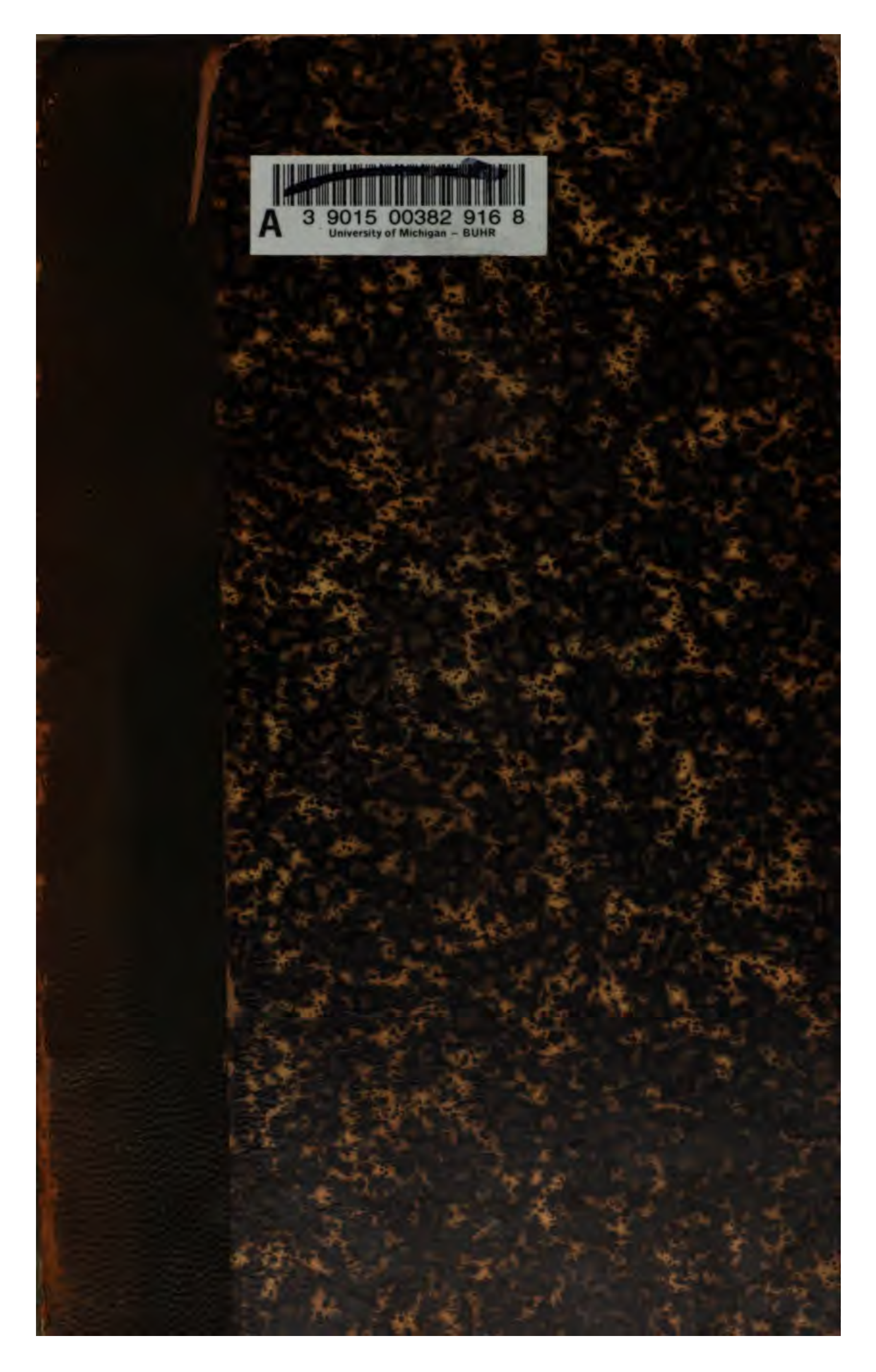
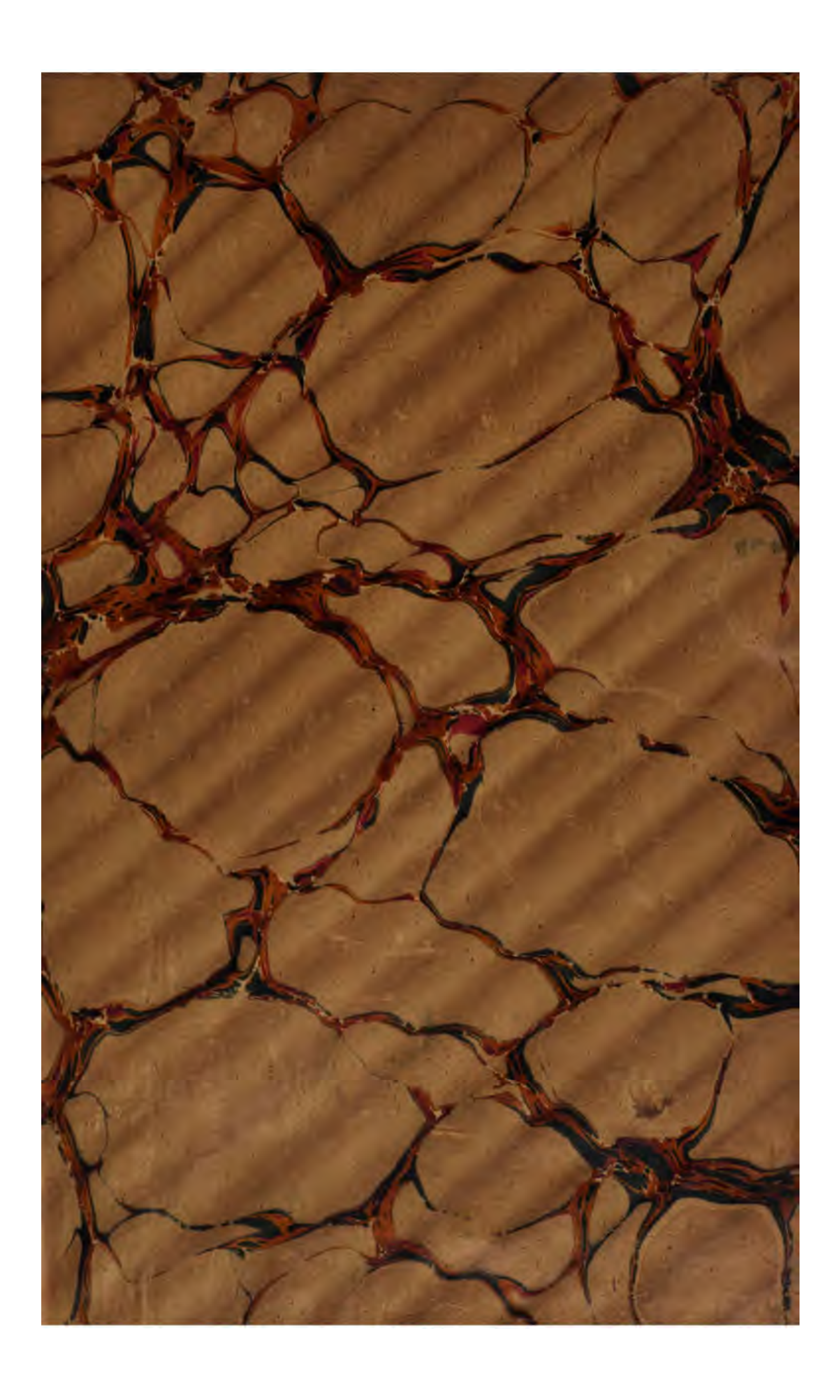

A 3 9015 00382 916 8
University of Michigan – BUHR

1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886

TOME VINGT-QUATRIÈME

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

SUCCESSEUR DE BAUDRY ET C[ie]

15, rue des Saints-Pères, 15

MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7

—

1901

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

LISTE DES MEMBRES

1901

Membres honoraires décédés.

MILLER (W.-H.).
ADAM.
KOBELL (Fr. von).
SMITH (Lawrence).
SELLA (Q.).
RATH (G. vom).
DOMEYKO (I.).
LEUCHTENBERG (S. A. I. le grand-duc Nic. de).
KOKSCHAROW (N. de).
SCACCHI (A.).
SZABO (J.).
MARIGNAC (Ch. de).
DANA (J.-D.).
DES CLOIZEAUX.
SCHRAUF (A.).
FRIEDEL (Ch.).
RAMMELSBERG (C.).

Membres honoraires.

DAMOUR (A.), membre de l'Institut, 10, rue Vignon, Paris, 9e.
FOUQUÉ, membre de l'Institut, professeur d'Histoire naturelle des corps inorganiques au Collège de France, 23, rue Humboldt, Paris, 14e.
LANG (V. von), professeur à l'Université de Vienne.
MASKELYNE (N. S. Esqre), membre de la Chambre des Communes, Basset Down House, Swindon, Wilts (Angleterre).
NORDENSKIŒLD (Baron A.-E.), membre de l'Académie des Sciences, Stockholm.
ROSENBUSCH (Dr H.), professeur à l'Université de Heidelberg.

TOPSŒ (Dr H.), professeur à l'École militaire de Copenhague.

TSCHERMAK (Dr G.), correspondant de l'Institut, professeur à l'Université de Vienne.

Membres perpétuels.

BERTRAND (Émile), ingénieur, 35, boulevard des Invalides, Paris, 7e.

INSTITUT impérial des Mines de Saint-Pétersbourg.

MAUROY (de), ingénieur, à Vassy (Haute-Marne).

SEIDEL Y AYMERICH (José), professeur à la Faculté des Sciences de la Havane (Cuba).

SPECULA VATICANA, à Rome.

SOCIÉTÉ impériale minéralogique de Saint-Pétersbourg.

Membres ordinaires [1].

m AMARAL (Fr. José de Santa Maria), mostero de S. Bento, à Rio-de-Janeiro.

AMIOT (H.), ingénieur en chef des Mines, attaché à la Direction des Chemins de fer de P.-L.-M., 4, rue Weber, Paris, 16e.

ARMACHEWSKI (P.), professeur à l'Université de Kiew (Russie).

ATANASESCO (N.), docteur ès sciences, professeur de Chimie à la Faculté de Médecine, Bucharest.

BÄCKSTRÖM (Dr H.), professeur à la Högskola, Stockholm.

BARET (Ch.), 23, rue Chateaubriand, Nantes.

m BARROIS (Charles), professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 37, rue Pascal, Lille.

BARTH, éditeur des *Beiblätter zu den Annalen der Physik*, Rossplatz, 17, Leipzig.

BAUER (Dr Max), professeur à l'Université, Marburg (Hesse).

BEL, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil des Mines, 4, place Denfert-Rochereau, Paris, 14e.

BENIER, ingénieur, Combs-la-Ville (Seine-et-Marne).

BENSAUDE (Dr Alf.), membre de l'Académie royale des sciences, professeur à l'Institut industriel, 6, rue S. Caetano, Lapa, Lisbonne.

(1) La lettre *m* indique les membres à vie.

BERGERON (Jules), professeur de Géologie et de Minéralogie à l'Ecole centrale, directeur adjoint du Laboratoire des recherches géologiques à la Sorbonne, 157, boulevard Haussmann, Paris, 8e.

BERTRAND (Marcel), membre de l'Institut, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'Ecole des Mines, 101, rue de Rennes, Paris, 6e.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Grenoble.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Louvain (Belgique).

BIBLIOTHÈQUE de la K. Techn. Hochschule de Stuttgart.

BIZARD (R.), 23, rue des Arènes, Angers.

BLONDEL (Maurice), licencié ès sciences, 286, boulevard Raspail, Paris, 14e.

BOMBICCI PORTA (Louis), professeur et directeur du Musée de Minéralogie, à l'Université de Bologne (Italie).

BOUBÉE (Mme E.), officier d'Académie, 3, boulevard et place Saint-André-des-Arts, Paris, 6e.

BOUCHARD (Dr), membre de l'Institut, 174, rue de Rivoli, Paris, 1er.

m BOUCHARDAT (Gust.), professeur à l'Ecole de Pharmacie, 108, boulevard Saint-Germain, Paris, 6e.

BOURGEAT (l'abbé), docteur ès sciences, professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

m BOURGEOIS (Léon), répétiteur à l'École polytechnique, assistant au Muséum d'histoire naturelle, 1, boulevard Henri IV, Paris, 4e.

BOWMANN (Herbert L.), démonstrateur de Minéralogie à l'Université d'Oxford, 7, Manor Road. Oxford.

BRAUNS (R.), professeur de Minéralogie à l'Université de Giessen.

BRÉON (René), ingénieur civil, Semur (Côte-d'Or).

BÜCKING (Dr Hugo), professeur de Minéralogie à l'Université de Strasbourg.

m BUREAU (Dr Louis), professeur à l'Ecole de Médecine, directeur du Musée d'histoire naturelle, 15, rue Gresset, Nantes.

CABINET de Minéralogie de l'Université royale de Pavie.

CARNOT (Ad.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, directeur de l'Ecole des Mines, Paris, 6e.

CAYEUX, répétiteur à l'Institut agronomique, préparateur à l'Ecole des Mines, Paris, 6e.

CESÀRO (G.), professeur de Minéralogie à l'Université de Liège, Trooz (Belgique).

CHABRIÉ (C.), docteur ès sciences, chef du Laboratoire de chimie de la Clinique des voies urinaires, chargé des cours à la Faculté des Sciences, villa des Fougères, Chaville (Seine-et-Oise).

CHESTER (A.), professeur au Retgers College, New-Brunswick, New-Jersey (Etats-Unis).

CHURCH (A. H.), F. R. S., professeur de Chimie, Shelsley, Kew Gardens, Surrey (Angleterre).

COHEN (Dr E.), professeur à l'Université, 4, Rossmarkt, Greifswald (Allemagne).

COLANI (A.), 19, rue Vauquelin, Paris, 5e.

COLORIANO (P. Ant.), docteur ès sciences, directeur de l'Ecole normale d'instituteurs, Bucharest (Roumanie).

m CORNU (A.), membre de l'Institut, professeur de Physique à l'Ecole polytechnique, 9, rue de Grenelle, Paris, 6e.

COSSA (Alfonso), professeur de Chimie et directeur à l'Ecole d'application des ingénieurs (Valentino), Turin.

COSTA-FORO, directeur des Mines de Berca-Vaclète, 3, allée de la Métropole, à Bucharest.

m COSTA-SENA (J. da), ingénieur des Mines, Ouro-Preto, Minas-Geraës (Brésil).

CUMENGE, ingénieur en chef honoraire des Mines, 33, rue de la Bienfaisance, Paris, 8e.

CURIE (Pierre), chargé de cours de Physique à la Faculté des Sciences de Paris, professeur à l'Ecole de Physique et Chimie, répétiteur à l'Ecole polytechnique, 13, rue des Sablons, Sceaux (Seine).

DAMOUR (Emilio), chef des travaux de Chimie à l'École des Mines, Paris, 6e.

DELAGE (A.), professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DÉMARTY, directeur de la Société anonyme des pierres précieuses d'Auvergne, 9, rue Saint-Louis, Clermont-Ferrand.

DEMIDOFF LAPOUKHINE (Prince), 35, avenue Victor-Hugo, Paris, 16e.

DERVIZ (Mlle), Laboratoire des Cours supérieurs pour Femmes à Saint-Pétersbourg.

DESHARNOUX, graveur, 69, rue Monge, Paris, 5e.

DOELTER (Dr Corn.), professeur de Minéralogie à l'Université de Gratz (Autriche).

DUFET (H.), maître de conférences de Minéralogie à l'Ecole normale supérieure, 35, rue de l'Arbalète, Paris, 5e.

DUPARC (Louis), professeur de Minéralogie à l'Université de Genève.

DURANDIÈRE (Arthur de La), 62, rue des Saints-Pères, Paris, 7e.

FERRAND (Lucien), préparateur de Chimie à l'Ecole polytechnique, 68, rue Ampère, Paris, 17e.

FLAMAND, chargé de cours à l'Ecole des Sciences d'Alger, Alger-Mustapha.

FRIEDEL (Georges), ingénieur des Mines, professeur à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne, 11, place Fourneyron, Saint-Etienne (Loire).

m FROSSARD (le Pasteur Ch.), 14, rue Ballu, Paris, 9e, et à Bagnères-de-Bigorre.

GAUBERT (Paul), docteur ès sciences, assistant de Minéralogie au Muséum d'histoire naturelle, Paris, 5e.

GENTIL (Louis), chargé de conférences de Pétrographie à la Faculté des Sciences, 11, rue des Feuillantines, Paris, 5e.

GLINKA (Serge), privat-docent, cabinet de Minéralogie, Université impériale de Saint-Pétersbourg.

GOGUEL (H.), docteur ès sciences, maître de conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 52, cours d'Alsace-et-Lorraine, Bordeaux.

m GOLDSCHMIDT (Dr V.), professeur de Minéralogie et de Cristallographie à l'Université, 9, Gassbergstrasse, Heidelberg.

GONNARD (F.), ingénieur des hospices civils de Lyon, 38, quai de Vaise, Lyon.

GORCEIX (Henri), ex-directeur de l'Ecole des Mines d'Ouro-Preto (Brésil), à Mont-sur-Vienne, par Bujaleuf (Haute-Vienne).

GOSSELET, correspondant de l'Institut, professeur de Géologie à la Faculté des Sciences, 18, rue d'Antin, Lille.

GRAEFF (Dr F. G.), professeur à l'Université, 7, Gartenstrasse Freiburg. i. B. (Allemagne).

m GRAMONT (Arnaud de), docteur ès sciences, 81, rue de Lille, Paris, 7e.

GRATTAROLA, directeur du Musée et Laboratoire de minéra-

logie de l'Institut royal des Etudes supérieures, 2, piazza San Marco, à Florence.

GROTH (Dr Paul), professeur à l'Université, Mineralogische Sammlung Akademie, Munich (Bavière).

GUYOT DE GRANDMAISON (E.), 23, rue Clairat, Bergerac (Dordogne), 6e.

HAUTEFEUILLE, membre de l'Institut, professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 28, rue du Luxembourg, Paris.

HINTZE (Dr C.), professeur de Minéralogie à l'Université, Moltkestrasse, 5, Breslau.

HUSSAK (E.), Commission géologique de São-Paulo (Brésil).

INSTITUT minéralogique de l'Université de Czernowitz (Autriche).

JANNETTAZ (Paul), ingénieur des Arts et Manufactures, répétiteur à l'Ecole centrale, 68, rue Claude-Bernard, Paris, 5e.

JOFFRE (J.), chimiste, 2, route de Saint-Leu, Montmorency (Seine-et-Oise).

JUNGFLEISCH, membre de l'Académie de Médecine, professeur à l'Ecole de Pharmacie et au Conservatoire des Arts et Métiers, 74, rue du Cherche-Midi, Paris, 6e.

KAMPMANN (Alfred), Epinal.

KLEIN (Dr Carl), correspondant de l'Institut, professeur à l'Université de Berlin, Geh. Bergrath, Am Carlsbade, 2, Berlin-W.

KRENNER (Dr), professeur de Minéralogie au National Museum, Buda-Pest.

KUNZ (Georges-F.), chez MM. Tiffany et Co, Union Square, New-York City.

LACOUR, ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère, Paris, 17e.

m LACROIX (A.), professeur de Minéralogie au Muséum d'histoire naturelle, 8, quai Henri IV, Paris, 4e.

LAPPARENT (Alb. de), membre de l'Institut, professeur de Géologie et Minéralogie à l'Institut catholique, 3, rue de Tilsitt, Paris, 8e.

LE CHATELIER (H.), ingénieur en chef des Mines, professeur à l'Ecole des Mines et au Collège de France, 73, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6e.

LEWIS (W. J.), New Museum, Cambridge (Angleterre).

LIEBISCH (Dr), professeur de Minéralogie à l'Université, Göttingen (Prusse).

LIMA (J. M. do Rego), ingénieur des Mines, professeur de Géologie appliquée à l'École militaire, 6, rue Fresca, 2e Lisbonne.

LIMUR (Cte de), hôtel de Limur, Vannes (Morbihan).

LINDSTRŒM (G.), adjoint au Riks-Museum, Stockholm.

m LIVERSIDGE, professeur à l'Université de Sydney, Nouvelle-Galles du Sud (Australie).

LOVISATO (Domenico), professeur à l'Université de Cagliari (Sardaigne).

LUEDECKE (Dr Otto), professeur à l'Université, 35, Wilhelmstrasse, Halle s. Saale (Thuringe).

MASSEY (de), ingénieur civil des Mines, 18 *bis*, rue Denfert-Rochereau, Paris, 5e.

MASSOULIER, avenue de Paris, Tulle (Corrèze).

MATTIROLO (Ettore), ingénieur des Mines, directeur du Laboratoire chimique de l'Office royal géologique des Mines, Rome.

MEUNIER (Stanislas), professeur de Géologie au Muséum d'histoire naturelle, 7, boulevard Saint-Germain, Paris, 5e.

m MICHEL (Léopold), maître de conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Paris, 128, avenue de Neuilly, Neuilly (Seine).

m MICHEL LÉVY (A.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, directeur du service de la carte géologique de France, 26, rue Spontini, Paris, 16e.

MIEG (Mathieu), 48, avenue de Modenheim, Mulhouse.

m MIERS (Henry-A.), professeur au Magdalen College, Oxford.

m MIRABAUD (Paul), banquier, 8, rue de Provence, Paris, 9e.

MOREL (A.), préparateur à la Faculté des Sciences, 15, rue Chazière, Lyon.

MOREL (J.), chef des travaux chimiques à la Faculté des Sciences de Lyon, 33, rue de la Liberté, Lyon.

MOSES (Dr Alf. J.), professeur de Minéralogie à l'École des Mines, Columbia University, New-York.

MUNIER-CHALMAS, professeur de Géologie à la Faculté des Sciences, 75, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6e.

MUSEUM d'histoire naturelle de Hambourg.

NENTIEN, ingénieur en chef des Mines, Chalon-sur-Saône.

ŒBBEKE (Dr K.), professeur de Minéralogie à la Technische Hochschule, Munich (Bavière).

OFFRET (Albert), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Lyon, villa Sans-Souci, 53, chemin des Pins, Lyon.

OUROCHEWICH (Sawa), professeur à l'École supérieure de Belgrade (Serbie).

PACHECO DO CANTO E CASTRO (Eug. Vaz), professeur au lycée de Ponta-Delgada, île de São-Miguel (Açores).

PAVOT, intendant militaire, 36 *bis*, rue Ballu, Paris, 9e.

PISANI, chimiste, 8, rue de Furstenberg. Paris, 6e.

PORCHER (l'abbé), professeur au Petit Séminaire, 19, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6e.

m POTIER, membre de l'Institut, ingénieur en chef des Mines, professeur honoraire à l'Ecole polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel, Paris, 5e.

m POUYANNE, inspecteur général des Mines, à Alger.

m RICHARD (Ad.), préparateur à l'École des Mines, 73, rue du Cardinal-Lemoine, Paris, 5e.

ROUX (Léon), professeur de Chimie à la Faculté des Sciences de Poitiers.

RUTLEY (Frank), 59, Perharm Road, West-Kensington, Londres.

m SAUVAGE (Ed.), ingénieur des Mines, 14, rue Eugène-Flachat (place Pereire), Paris, 17e.

m SAXE-COBOURG-GOTHA (S. A. I. le Prince dom Pedro de).

SCACCHI (E.), professeur de Minéralogie à l'Université de Naples.

SCHULTEN (Dr Aug. de), professeur à l'Université de Helsingfors (Finlande).

SEHERR THOSS (le baron M. de), Hohenzollernstrasse, 16, Berlin.

SELIGMANN (G.), 18, Schlossrondel, Coblentz.

SELLE (vicomte de), au château de Fontienne, près Forcalquier, (Basses-Alpes).

SELWYN, ancien directeur du service géologique du Canada, Museum and Office, Sussex street, Ottawa.

SKOUPHOS (Dr Théodose), conservateur du Musée minéralogique et paléontologique, 9, rue Navarinos, Athènes.

SORET (Charles), professeur de Physique à l'Université, 8, rue Beauregard, Genève.

STEFANESCO (G.), directeur du Musée d'histoire naturelle, 8, strada Verde, Bucharest.

STÖBER (D^r H.), professeur de Minéralogie à l'Université, 2, boulevard Léopold, Gand.

STRUEVER, professeur de Minéralogie à l'Université de Rome.

STUER (Al.), 4, rue de Castellane, Paris, 8^e.

TENNE (D^r C.-A.), privat-docent à l'Université et conservateur au Musée de Berlin, 43, Invalides, Berlin, N. 4.

TERMIER (Pierre), ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 164, rue de Vaugirard, Paris.

USSING (D^r N.-V.), professeur à l'Université de Copenhague.

UZIELLI (Gustave), professeur de Géologie et de Minéralogie à l'Ecole d'application des ingénieurs, 3, via Goito, Turin (Italie).

VERNADSKY (Vladimir), privat-docent à l'Université de Moscou.

WALLERANT (F.), maître de conférences à l'École normale supérieure, Paris, 5^e.

WATTEVILLE (Charles de), licencié ès sciences, 96, avenue Victor-Hugo, Paris, 16^e.

WICHMANN (D^r A.), professeur à l'Université d'Utrecht (Pays-Bas).

WINCHELL (N. H.), géologue de l'État du Minnesota, Minneapolis (Etats-Unis).

WOULF (Georges), privat-docent à l'Université de Varsovie.

WULFING, professeur à l'Université de Tübingen (Wurtemberg).

WYROUBOFF (Grégoire), 20, rue Lacépède, Paris, 5^e.

ZEGERS (Louis-L.), ingénieur des Mines, 57, Chacabuco, Santiago (Chili).

ZUJOVIC (J.-M.), professeur de Géologie à l'École supérieure de Belgrade (Serbie).

Bureau de la Société

(Année 1901).

MM. E. BERTRAND, Président.
WYROUBOFF, de SELLE, Vice-Présidents.
L. BOURGEOIS, Trésorier.
P. GAUBERT, Secrétaire pour la France.
Ad. RICHARD, Secrétaire pour l'Étranger.
M. BLONDEL, Archiviste.

Membres du Conseil de la Société

(Année 1901).

MM. CARNOT,
DE GRAMONT,
HAUTEFEUILLE,
MM. MICHEL,
P. TERMIER,
WALLERANT.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1901. — BULLETIN N° 1.

Compte rendu de la séance du 10 janvier 1901.

PRÉSIDENCE DE M. WALLERANT.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. le Trésorier pour la lecture de son rapport.

Rapport du Trésorier.

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

J'ai l'honneur de vous présenter les comptes de l'année qui vient de s'écouler, comptes arrêtés au 31 décembre dernier :

COMPTES DE L'EXERCICE 1900.

Recettes.

En caisse au 1er janvier 1900	Fr.	7.633 47
Cotisations arriérées		780 »
— de l'année.		1.280 40
— anticipées.		80 »
Allocation ministérielle.		600 »
Abonnements et vente du *Bulletin*		1.178 70
Rentes sur l'Etat français 3 0/0 et 3 1/2 0/0		303 »
Intérêts du compte de chèques à la Société Générale.		36 16
Intérêts des sommes déposées à la Caisse nationale d'Epargne, à 2 1/2 0/0.		68 60
Total.	Fr.	11.960 33

Dépenses.

Bulletin, impression et port	Fr.	839 83
— gravure		89 75
— rédaction et extraits		500 »
— impression de la table décennale.		358 50
Administration, allocation au garçon de salle. . . .		200 »
— gratification aux concierges. . . .		20 »
— frais de bureau.		142 »
Bibliothèque, abonnements		169 75
— reliures et travaux de menuiserie. . .		156 40
— assurance contre l'incendie.		26 75
Société Générale, droits de garde, timbres, etc.. .		6 80
Solde en caisse au 1er janvier 1901		9.430 53
Total.	Fr.	11.960 33

Notre fonds de réserve se compose aujourd'hui des valeurs suivantes évaluées au cours du 31 décembre 1900 :

152 francs rente française 3 0/0 perpétuel à 101 fr. 25	Fr.	5.130 »
151 francs rente française 3 1/2 0/0 à 103 francs		4.443 72
TOTAL.	Fr.	9.573 72

Ce qui, joint à l'encaisse au 1er janvier 1900, donne un actif immédiatement réalisable de 19.004 fr. 25.

Il me reste à vous proposer, Messieurs, le projet de budget suivant pour la présente année.

PROJET DE BUDGET POUR 1901.

Recettes.

Reprise sur l'encaisse précédente	Fr.	797 »
Cotisations		1.600 »
Allocation ministérielle		600 »
Intérêts du fonds de réserve		303 »
Abonnements et vente du *Bulletin*		1.350 »
TOTAL.	Fr.	4.650 »

Dépenses.

Bulletin, impression et port. . . . . Fr.	2.500	»
— gravure.	500	»
— rédaction et extraits.	500	»
Administration, allocation au garçon de salle. . .	200	»
— frais divers.	150	»
Bibliothèque, abonnements, reliures, assurances, etc.	200	»
Total. . . . . . . Fr.	4.050	»

Le Trésorier,
L. BOURGEOIS.

Les membres de la Commission de Comptabilité, MM. Dufet, L. Gentil, de Watteville, ont examiné les comptes de 1900 et ont constaté leur parfaite régularité. Ils proposent d'adresser les remerciements des membres de la Société à M. le Trésorier.

Ces remerciements sont votés à l'unanimité.

Il est ensuite procédé aux élections pour le renouvellement du Bureau de la Société.

Présidence : M. E. Bertrand obtient 40 voix, et M. Roux, 1 voix. M. E. Bertrand est proclamé président pour l'année 1901.

Vice-Présidence : MM. Wyrouboff et de Selle sont nommés vice-présidents par 40 et 36 voix.

MM. Carnot, Hautefeuille et Termier sont nommés membres du Conseil en remplacement de MM. Cumenge, Lacroix et Le Châtelier, membres sortants.

M. Gaubert est réélu secrétaire pour la France.

En conséquence, le Bureau de la Société est constitué ainsi qu'il suit :

Président : M. E. Bertrand ;
Vice-Présidents : MM. Wyrouboff et de Selle ;
Trésorier : M. L. Bourgeois ;
Secrétaires : MM. P. Gaubert et Ad. Richard ;
Archiviste : M. Blondel ;
Membres du Conseil : MM. Carnot, de Gramont, Hautefeuille, L. Michel, Termier et Wallerant.

M. Wallerant cède le fauteuil de la Présidence à M. Wyrouboff, vice-président.
M. le Président annonce deux présentations.

M. Dufet offre, au nom de la Société française de Physique et au sien, l'ouvrage qu'il vient de publier, ***Recueil des données numériques***, publié par la Société française de Physique. 3e fascicule : pouvoir rotatoire, couleurs d'interférence, supplément.
Ce fascicule contient les chapitres suivants :

Pouvoir rotatoire des corps cristallisés ;
Pouvoir rotatoire des corps liquides ou dissous ;
Couleurs d'interférence ;
Indices de quelques solides remarquables (calcite, quartz, sel gemme, sylvine) ;
Propriétés optiques des solides inorganiques : 1° minéraux, 2° substances artificielles ;
Propriétés optiques des solides organiques ;
Influence de la température sur les propriétés optiques des solides ;
Indices des métaux et dispersion anomale.

M. Wyrouboff fait une communication sur un oxalate de chrome cristallisé.

M. Termier présente, au nom de M. G. Friedel, la note suivante.

Sur la Termiérite et la Lassallite, deux espèces nouvelles de silicates.

Par M. G. FRIEDEL.

J'ai reçu de M. Lassalle, propriétaire de mines, divers minéraux provenant du filon d'antimoine de Miramont (concession de Souliac, sur les confins du Cantal et de la Haute-Loire). Ce filon, orienté E.-O. à travers les gneiss, et qui, aux affleurements, présentait, sur 80 à 90 centimètres d'épaisseur, un remplissage de stibine riche enrobée dans des oxydes noirs et blancs, a été exploré par puits et galeries à 25 mètres de profondeur. A ce niveau, il s'est montré à peu près stérile et l'antimoine a fait place à diverses argiles filoniennes accompagnées de sulfate de baryte. Les échantillons qui m'ont été communiqués par M. Lassalle contiennent, outre la barytine, qui n'est guère habituelle dans les filons d'antimoine, trois espèces minérales intéressantes. L'une n'est pas nouvelle, mais mérite d'être citée comme se présentant rarement dans des gisements de cette nature. C'est une poudre blanche d'aspect micacé, impalpable, d'où, par lévigation, se séparent des lamelles de barytine et des aiguilles de quartz à deux sommets. La poudre ainsi purifiée est entièrement cristalline et composée de fines lamelles hexagonales à angles de 120°, généralement allongées, dont l'indice est peu supérieur à celui de l'eau.

Trop minces pour être observées en lumière convergente, elles restent éteintes entre les nicols croisés quand elles sont à plat, et dans toute autre position se montrent assez fortement biréfringentes avec allongement positif. Elles sont donc uniaxes, ou biaxes à axes rapprochés, et négatives. Parfaitement purifiées par lévigation, elles donnent à l'analyse :

Eau.............	14,12 0/0
SiO^2............	44,48
Al^2O^3...........	36,24
Fe^2O^3...........	2,18
CaO............	0,44
MgO............	0,19
K^2O.............	2,03
	99,68 0/0

C'est de la *Kaolinite*.

Les deux autres substances sont nouvelles. L'une, que je propose d'appeler *Termiérite* en la dédiant à notre collègue, M. le professeur Termier, se rapproche par son aspect d'une Halloysite. Abandonnée à l'air depuis quelques heures, elle est opaque, de couleur gris clair, et forme de petites masses à cassure conchoïdale, assez tenaces, de dureté 2 environ, dont la structure zonée est mise en évidence par des bandes grises à peine distinctes. Elle happe à la langue d'une manière excessive et ne présente pas l'odeur d'argile. Plongée dans l'eau, elle en absorbe une grande quantité, en dégageant dans toute sa masse de fines bulles d'air et ne devient pas plastique. Saturé d'eau, le minéral prend une teinte notablement plus foncée, devient translucide sur les bords et bien transparent en lames de 1/10 de millimètre d'épaisseur. Les zones y apparaissent plus nettes et, en outre, de minces filonnets de la même substance se montrent tra-

versant la masse en divers sens, surtout à peu près normalement aux zones d'accroissement.

Le minéral sec, mis dans un liquide quelconque, tel que la benzine, l'éther, l'iodure de méthylène, l'absorbe aussi bien que l'eau. Mais, plongé ensuite dans l'eau, il laisse dégager ces liquides en gouttelettes microscopiques et se sature d'eau. Les faits sont, en somme, exactement les mêmes que pour les zéolithes partiellement déshydratées. Seulement, on verra que la masse d'eau absorbée est beaucoup plus grande.

L'aspect du minéral est celui d'une argile concrétionnée et amorphe. Cependant, taillé en lames minces, il se montre nettement biréfringent et composé, contrairement à toute attente, de grandes plages de biréfringence à peu près uniforme et voisine de 0,002. Ces plages sont interrompues par les lignes séparatives des zones, qui correspondent en même temps à de légères variations dans la teinte naturelle et dans la teinte de polarisation et à des déplacements généralement faibles des directions d'extinction. Les filonnets transversaux limitent également ces plages et ne présentent pas la même orientation optique. Ils en sont séparés par des lignes si fines et si droites qu'on les prendrait au premier abord pour des traces de plans de macles. En réalité, ce sont probablement des fissures postérieurement remplies par le même minéral, car leurs directions paraissent être quelconques. Ces filonnets rejettent souvent les lignes séparatives des zones. La matière qui les remplit, tout en ayant absolument le même aspect que la masse environnante, est cependant plus translucide, moins colorée et très légèrement moins réfringente. Il n'est pas douteux que ce soit le même minéral, simplement moins coloré par le fer.

Les lames taillées normalement à la surface des zones se montrent presque uniformément biréfringentes et s'éteignent

à peu près parallèlement et normalement à la trace des zones. Celles qui sont taillées parallèlement à la même surface se montrent, au contraire, peu et surtout irrégulièrement biréfringentes. Elles sont perpendiculaires à une bissectrice aiguë négative, mais avec un écartement d'axes variable et par endroits nul, comme si des éléments biaxes très petits, orientés symétriquement autour de cette bissectrice, s'enchevêtraient intimement de façon à produire par endroits des plages uniaxes. Dans les veinules, l'extinction se fait d'un seul coup et sous un angle quelconque par rapport aux bords rectilignes.

En l'absence de toute forme cristalline extérieure, il est difficile d'affirmer qu'il s'agisse là d'une substance réellement cristallisée. Il reste possible que la biréfringence soit due à des tensions anisotropes. Toutefois, ces tensions, si elles ont pu exister et déterminer des déformations, n'existent plus. De quelque façon qu'on brise une lame, qu'on sépare les plages qui la constituent, la biréfringence ne change pas. Elle ne change pas non plus sensiblement si le minéral, ayant absorbé 50 0/0 d'eau et plus, est ensuite déshydraté ; ces tensions ne seraient donc pas dues aux modifications considérables de volume qui, on le verra, accompagnent l'absorption et l'expulsion de l'eau. L'uniformité de la biréfringence, qui s'écarte peu de 0,002, l'absence de toute plage isotrope, la netteté des extinctions, qui se font d'un seul coup sur des plages de plusieurs millimètres de largeur ou dans toute l'étendue d'un des filonnets, semblent plaider en faveur d'un véritable état cristallin.

L'indice, évalué seulement par des mesures d'épaisseur apparente et réelle, est voisin de 1,403 pour le minéral saturé d'eau, donc à peine supérieur à celui de l'eau. Il paraît un peu plus élevé pour le minéral déshydraté ; mais l'opacité plus grande rend les mesures incertaines.

Le minéral est attaqué difficilement par HCl à chaud.

Chauffé au chalumeau, il devient d'abord opaque en perdant son eau, puis dur et semblable à la terre cuite; quand la température a atteint le blanc, il reprend, avant de fondre, une certaine translucidité et un aspect corné jaunâtre qui rappellent celui du minéral saturé d'eau. Il fond ensuite, très difficilement et seulement en esquilles très fines, en donnant un verre compact, transparent, jaunâtre et à peine bulleux.

L'analyse montre que la composition est celle d'un silicate d'alumine hydraté contenant de petites quantités de chaux et de magnésie, remarquable par une teneur en silice élevée qui l'éloigne de toutes les argiles connues. La substance, bien homogène et exempte d'inclusions étrangères, a donné après calcination :

SiO^2..........	78,29	
Al^2O^3.........	15,00	
Fe^2O^3.........	4,85	(probablement en partie sous forme de FeO)
CaO...	1,77	
MgO..........	0,47	
	100,38	

Séchée à l'étuve à 110°, la matière retient encore une proportion d'eau que la calcination élimine et qui a varié de 6,68 à 6,86 0/0, rapportés à la matière calcinée. Tant que le minéral n'a pas été fondu, cette eau est reprise à l'air humide au refroidissement. Plongée dans l'eau, la matière en absorbe jusqu'à en contenir 72,4 0/0 du poids de la substance anhydre. A l'air humide, elle en retient environ 18 0/0 à froid. Toute l'eau étant mobile, zéolithique, les teneurs en eau sont essentiellement variables selon la température et l'état hygrométrique du milieu ambiant. Les

chiffres précédents ne font que donner une idée de l'ordre de grandeur du phénomène.

En absorbant cette énorme quantité d'eau, la substance subit une dilatation considérable. Saturée d'eau, elle a une densité de 1,549, à 12°. La mesure de la densité du minéral plus ou moins déshydraté est plus difficile, à cause de l'absorption des liquides. Je suis parvenu cependant à estimer avec assez d'exactitude la densité du minéral à l'état naturel en préparant par tâtonnements, pour en prendre la densité, une liqueur dans laquelle les fragments, lorsqu'on les y projette, restent un court instant en suspension près de la surface avant de s'enfoncer en s'imbibant de liquide. Le dégagement de bulles d'air qui accompagne cette imbibition est un obstacle à la précision d'une telle mesure. Cependant, les résultats obtenus avec différentes liqueurs varient assez peu. Avec le mélange d'iodure de méthylène et de benzine, on a obtenu 1,223; les mesures sont plus faciles et probablement meilleures avec l'acide sulfurique étendu d'eau, qui fournit le chiffre 1,210.

En adoptant ce dernier chiffre, on voit que le minéral naturel, qui a une densité de 1,210 et contient déjà 18 0/0 d'eau (rapportés toujours à la matière anhydre), absorbe encore 54,4 0/0 d'eau en se saturant et prend alors la densité 1,549. Il en résulte que ce minéral se dilate de 14,1 0/0 de son volume initial. La densité initiale, 1,223, conduirait à une dilatation de 15,3 0/0. On trouve donc ici, reproduites avec exagération, toutes les propriétés des zéolithes : un réseau extraordinairement lâche, capable d'absorber tous les fluides, mais dont l'eau expulse tous les autres fluides, et subissant, par suite de cette imbibition, des dilatations et contractions qui complètent l'analogie avec le tissu d'une éponge. Un tel corps est capable, comme je l'ai fait voir pour la Chabasie, d'absorber des solutions salines,

silicates alcalins ou autres, qui peuvent réagir dans les intervalles mêmes du réseau et y déposer des substances solides étrangères à la molécule, par exemple de la silice imbibant le réseau d'une manière homogène, comme le font les liquides. On conçoit que la composition chimique ne réponde pas toujours à une formule simple et constante, et que l'analyse des échantillons d'une seule provenance ne puisse fournir qu'une formule provisoire. L'analyse ci-dessus est représentée assez exactement, pour le minéral saturé d'eau, par la formule :

$$6SiO^2, Al^2O^3 + 18H^2O \text{ (eau mobile)},$$

où Al^2O^3 serait remplaçable en partie par Fe^2O^3, CaO ou MgO.

La seconde espèce nouvelle de Miramont, que j'appelle ***Lassallite*** (du nom de M. Lassalle, qui a eu le mérite de remarquer et de recueillir fréquemment, dans ses recherches minières, des minéraux intéressants), a l'aspect d'une asbeste feutrée ou d'un carton minéral léger, très tenace, souple, mais difficile à déchirer et s'effilant alors en fibres d'un blanc de neige. Plongée dans l'eau, elle s'en imbibe, et gonfle en changeant complètement d'apparence : elle devient molle, visqueuse au toucher, sans se désagréger, et ressemble alors à de la viande longtemps abandonnée dans l'eau, dont elle a l'aspect et la consistance.

Calcinée dans un creuset, la substance se contracte énormément et s'agglomère en une masse encore légère et poreuse, mais dure et cassante. Chauffée au chalumeau, elle fond en un verre incolore et un peu bulleux. La fusion ne se produit, d'ailleurs, qu'à très haute température ; mais la faible masse des fibres fait que cette température est aisément atteinte au feu du chalumeau.

Au microscope, la matière se résout en un enchevêtrement de lamelles allongées en fibres, sans forme géométrique bien

distincte, extrêmement minces, et donnant, entre les nicols croisés, des tons gris du premier ordre. L'extinction est longitudinale et le signe de l'allongement positif. Au premier abord, on croirait ces lamelles noyées dans de la matière amorphe; mais, en réalité, si l'on écrase la substance entre deux lames de verre, en employant un fort grossissement et un éclairage intense, toute la masse apparait comme composée de fibres biréfringentes.

A l'état naturel, la matière retient encore une forte proportion d'eau, 30 0/0 environ (rapportés à la matière anhydre). Chauffée à 100°, elle en perd environ 16 0/0 et contient alors une proportion d'eau qui paraît constante et représente probablement de l'eau de cristallisation à proportions définies (14,19 0/0 dans un essai, 14,24 0/0 dans un autre, toujours rapportés à la matière anhydre). La quantité d'eau mobile retenue dans les conditions ordinaires de température et d'état hygrométrique et le gonflement de la substance dans l'eau rendent assez probable qu'elle présente les mêmes phénomènes d'absorption que la Termiérite; mais, ici, on ne peut s'assurer directement que l'imbibition se fait dans la masse même des cristaux et non dans les interstices de la masse feutrée qu'ils constituent.

L'analyse de la substance, soigneusement triée et homogène, a donné, en pour 100 de matière calcinée (colonne I)

	I	II
SiO^2	69,27	68,9
Al^2O^3	19,42	19,5
Fe^2O^3	0,84	»
MgO	10,01	11,5
CaO	1,30	
	100,84	
H^2O	14,22	13,8

La colonne II donne la composition correspondant à la formule :

$$12SiO^2, 2Al^2O^3, 3MgO + 8H^2O,$$

qui représente assez bien la composition du minéral.

Le minéral est très faiblement attaqué par HCl à chaud.

Sa densité, prise par la méthode du flacon, serait de 1,477 à 12°,5. Mais il importe de remarquer que ce n'est exactement ni la densité du minéral naturel ni celle du minéral saturé d'eau. Car on ne peut peser le corps qu'à l'état naturel, sa texture spongieuse ne permettant pas de le saturer d'eau et d'éliminer ensuite l'eau en excès en essuyant soigneusement, comme on l'a fait pour la Termiérite saturée. Placé dans le flacon, il absorbe très probablement de l'eau dans la masse même des cristaux, et le poids d'eau déplacé étant ainsi diminué, la densité mesurée est trop forte pour représenter celle du minéral naturel. Pour prendre un exemple extrême, la densité de la Termiérite, mesurée dans ces conditions, serait de 2,076 au lieu de 1,549. C'est en quelque sorte la densité du corps si l'on considère comme n'étant pas occupés par lui les espaces vides du réseau que l'eau peut venir occuper. La même cause d'erreur existe pour plusieurs zéolithes, et a conduit à leur attribuer une densité trop forte.

Sur la forstérite et les pseudomorphoses de dipyre en forstérite et spinelle des contacts des roches lherzolitiques de l'Ariège.

Par M. A. LACROIX.

Dans plusieurs mémoires antérieurs (1), j'ai étudié en grand détail les nombreuses et importantes transformations miné-

(1) *Nouvelles Archives du Muséum*, VI, 209; 1894; et *Bull. serv. Carte géol.* n°s 42 et 53.

ralogiques subies par les sédiments plus ou moins calcaires d'âge secondaire au contact de la lherzolite et des ophites des Pyrénées. Ces transformations sont remarquablement analogues, dans leurs grandes lignes, sur toute l'étendue de la chaîne pyrénéenne ; mais elles présentent de nombreuses variations locales et les gisements où on les rencontre sont, entre tous, particulièrement intéressants par leurs accidents minéralogiques inattendus.

Je me propose, dans cette note, de décrire un minéral, la *forstérite*, que je n'avais pas encore rencontré dans les très nombreux échantillons que j'ai antérieurement étudiés.

Mais, avant d'aborder la description de ce minéral, je rappellerai sommairement les caractéristiques minéralogiques de ces contacts lherzolitiques et ophitiques, dont il n'a pas encore été question dans ce bulletin. Les minéraux qui se rencontrent dans tous les gisements de l'Ariège et dans beaucoup de ceux de la Haute-Garonne et des Basses-Pyrénées sont communs à ces divers gisements, mais ils présentent dans leurs associations de nombreuses variations dont quelques-unes sont particulières à des localités déterminées. Ces minéraux sont les suivants : *dipyre* (caractéristique et presque constant) ; *feldspaths* (orthose, microcline, albite, bytownite, anorthite et, plus rarement, les autres plagioclases) ; *micas* (biotite, phlogopite, rarement muscovite) ; *amphiboles* (hornblende, actinote, trémolite) ; *pyroxènes* (diopside, etc.) ; *chlorites*, *tourmaline*, *rutile*, *sphène*, *magnétite*, *pyrite*, *pyrrhotite*, *hématite*, *apatite*, *quartz*, *graphite*, enfin, dans quelques gisements seulement, et comme élément très rare, *épidote*, *grossulaire* et *spinelle*(1).

(1) J'ai trouvé récemment de beaux cristaux de *spinelle* noir (a^1b^1) associés à des octaèdres de magnétite, dans un calcaire métamorphique de Lordat (vallée de l'Ariège). En lames minces, ce spinelle se montre d'un vert foncé, il est riche en inclusions de magnétite.

Ces minéraux, sauf la tourmaline, se rencontrent à la fois dans des calcaires marmorisés et dans des roches entièrement silicatées (cornéennes, schistes micacés, etc.), provenant de la transformation de marnes calcaires. Dans toutes les roches de contact immédiat de la lherzolite, le pigment charbonneux originel a disparu ; mais, quand on peut les observer à quelques centaines de mètres de la roche éruptive, on retrouve ce pigment intact, même en présence de minéraux métamorphiques, qu'il colore en noir.

C'est toujours le dipyre qui, dans les calcaires, présente les formes les plus nettes et les plus grandes dimensions. A la montée du Port de Massat et à l'étang de Lherz (Ariège), on peut recueillir des cristaux de dipyre (*couseranite* de Charpentier) atteignant 4 centimètres de longueur; ils sont colorés en noir par de la matière charbonneuse. Ils ont leurs formes prismatiques m (110), h^1 (100) très nettes, mais ne possèdent jamais de pointements distincts.

Quant aux phénomènes de contact des ophites, ils présentent la plus remarquable analogie avec ceux de la lherzolite ; ils n'en diffèrent guère que par leur intensité moindre ; les roches entièrement silicatées ne constituent plus qu'une exception, et leur cristallinité est toujours plus faible que dans le cas précédent. De plus, dans les contacts ophitiques, l'orthose, le microcline et les feldspaths calcosodiques sont absents, le pyroxène rare, tandis qu'au contraire l'*albite* (macles de l'albite, de Carlsbad et du Roc Tourné), les *chlorites* (particulièrement leuchtenbergite), le *quartz*, deviennent très abondants et forment de fort gros cristaux. La tourmaline brune est distribuée moins régulièrement dans ces contacts que dans les précédents, mais s'y rencontre localement en très grande abondance et en énormes cristaux (Arnave, Lys). Les sédiments métamorphisés par les ophites ne sont pas seulement des calcaires ou des

marnes calcaires, mais encore des bancs d'anhydrite et de gypse.

Arrivons maintenant à la *forstérite*, qui fait l'objet de cette note. Le premier gisement dans lequel je l'ai rencontrée est celui du bois du Fajou, près de Caussou. Ce gisement, situé dans la vallée de l'Ariège, est de beaucoup celui dont la visite est le plus facile ; il permet de recueillir presque tous les minéraux énumérés plus haut, au milieu de sédiments liasiques dont on peut toucher le contact avec la lherzolite.

J'ai recueilli la forstérite dans un bloc de calcaire cristallin à grands éléments. L'examen microscopique de ce dernier montre que tous les grains de calcite le constituant présentent la macle polysynthétique suivant b^1 $(01\bar{1}2)$. Au milieu de cette calcite, sont disséminés en grand nombre des grains ou des octaèdres d'un *spinelle* vert pâle, incolore en lames minces, qui renferment généralement des inclusions de calcite ; enfin, il existe des lamelles de phlogopite d'un jaune pâle, ainsi que de très nombreux cristaux de forstérite.

Ceux-ci ont de 0 millimètre à $1^{mm},5$. Ils sont d'un jaune pâle clair, très aplatis suivant p (001) et allongés suivant une arête pg^1. Ils sont, du reste, généralement très squelettiques, ce qui explique la difficulté que l'on éprouve à les isoler complètement de leur gangue ; cependant, en réduisant la roche en poudre fine, j'ai pu, à l'aide de l'iodure de méthylène, extraire quelques cristaux dans lesquels on voit les faces pe^1h^1 très développées, avec, en outre, de petites facettes g^1g^3. Ces cristaux renferment, sous forme d'inclusions, des spinelles, qui paraissent s'être formés à la fin de leur cristallisation ; en effet, ils ne sont, en général, englobés que par la périphérie des cristaux de forstérite.

Les propriétés optiques sont celles des minéraux magné-

siens du groupe du péridot : plan des axes optiques perpendiculaire à l'allongement, bissectrice aiguë positive, perpendiculaire à p.

Le minéral est traversé çà et là par des cassures plus ou moins parallèles à h^1 (100), qui sont remplies par des filets d'antigorite, indiquant un commencement de serpentinisation.

Une petite quantité du minéral a été complètement purifiée à l'aide de l'iodure de méthylène dans lequel il tombe. Il est attaqué par les acides, mais pas avec une très grande facilité; il est très riche en magnésie, contient des traces de chaux et une proportion de fer insuffisante pour qu'il puisse être considéré comme une variété d'olivine; on doit le regarder comme constituant une forstérite un peu ferrifère.

Le second gisement dont j'ai à m'occuper se trouve dans la haute vallée d'Ercé, tout près du col d'Eret, qui fait communiquer cette vallée avec celle de l'étang de Lherz. Les échantillons qui vont être décrits ont été recueillis en blocs de toute taille au pied de l'escarpement qui permet d'atteindre le col et à égale distance d'un affleurement d'une hornblendite péridotique et feldspathique (en haut du ravin) et d'une ophite (en bas du ravin). Ces blocs ne sont pas roulés et ne peuvent provenir que de quelques centaines de mètres au maximum en amont ; il est même possible qu'ils soient presque en place, le thalweg du ravin étant, au point où je les ai recueillis, constitué par la brèche du jurassique inférieur, dans laquelle le dipyre n'est pas rare.

Quoi qu'il en soit de cette question d'origine, ces échantillons sont constitués par un calcaire d'un gris noir très compact et extrêmement tenace ; on n'y distingue, à l'œil nu, que des cristaux (mh^1) de dipyre, atteignant 3 centimètres de longueur. L'examen microscopique fait voir une structure tout à fait différente de celle que j'ai observée dans les

autres gisements pyrénéens. La forstérite est distribuée souvent très régulièrement au milieu du calcaire. Lorsqu'elle possède des formes géométriques, ce sont celles bien connues de l'olivine des basaltes $p\ g^1 g^2$ (130), a^1(101). h^1(100). La calcite, aussi bien que la forstérite, est criblée de

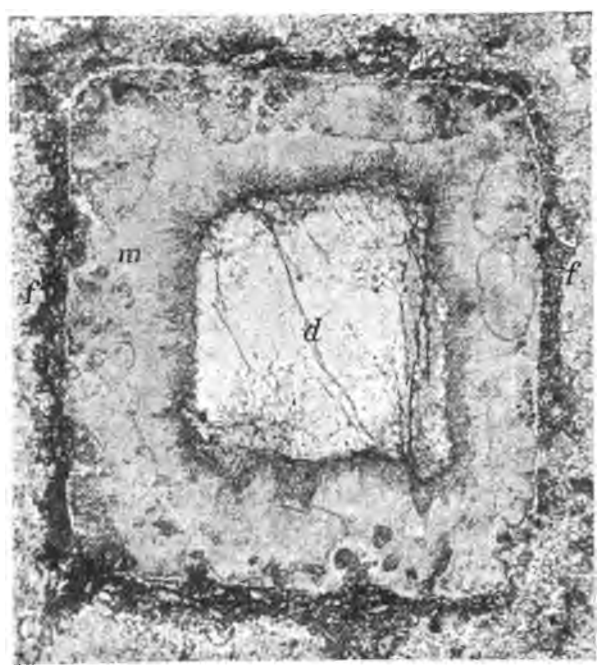


Fig. 1. — Section d'un cristal de dipyre, taillé perpendiculairement à son axe vertical. Au centre, on voit une plage de dipyre intact (*d*), entourée par une zone fibrolamellaire de mica : la périphérie du cristal est occupée par un mélange (*f*) de forstérite et de spinelle.

grains et plus rarement d'octaèdres nets de spinelle d'un vert assez foncé, qui sont d'ordinaire remplis d'inclusions noires opaques de magnétite. Ce dernier minéral existe aussi en octaèdres indépendants.

L'étude des lames minces taillées dans les cristaux de dipyre montre quelque chose de surprenant et sans analogue dans les centaines de plaques de ce minéral que j'ai eu l'occasion d'étudier depuis quelques années. Les figures 1 et 2, sont la reproduction de photographies de sections, perpendiculaires à l'axe vertical du dipyre. Dans le cas le plus simple, on constate que le centre du cristal de dipyre est constitué par ce minéral intact (*fig.* 1). Sa partie périphérique est constituée par de gros grains de monticellite et de spinelle; ces derniers sont disposés contre le calcaire, soulignant dans les lames minces, par leur couleur verte, les contours mh^1 du cristal de dipyre. Ce sont eux qui donnent à l'extérieur des cristaux de dipyre la coloration verte que l'on peut voir sur les échantillons extraits du calcaire par l'action d'un acide. Entre cette bordure de péridot et le minéral intact, s'observe une zone fibrolamellaire à éléments extrêmement fins, constituée par un mica incolore, à deux axes assez écartés. Dans beaucoup de cas, le dipyre est extrêmement réduit; quelquefois même, il a disparu et le centre du cristal est occupé alors par un agrégat de grains de forstérite et de spinelle à éléments plus fins que ceux constituant la partie périphérique de la pseudomorphose (*fig.* 2). Le spinelle y a généralement une structure cristallitique; il parait formé de lamelles irrégulières superposées: elles sont beaucoup moins transparentes que les cristaux de la périphérie et d'un vert moins franc. Enfin on rencontre fréquemment de grands cristaux à forme de dipyre, dans lesquels la zone micacée n'existe pas; ils sont entièrement remplis par des grains très fins de forstérite et de spinelle, avec parfois, au centre, une ou deux grandes plages de calcite, bordée de grains de spinelle et de forstérite, rappelant par leurs dimensions et leur structure ceux de la périphérie du cristal.

De tous ces faits, il résulte que nous sommes en présence

d'une pseudomorphose de dipyre en un mélange de forstérite et de spinelle, pseudomorphose assez singulière, si l'on compare la composition minéralogique originelle du dipyre et celle des produits résultant de sa transformation. Celle-ci consiste qualitativement en élimination de soude et de chaux et en gain d'une grande quantité de magnésie. L'identité du remplissage de ces pseudomorphoses et des mêmes minéraux, disséminés dans toute la masse du calcaire, rend

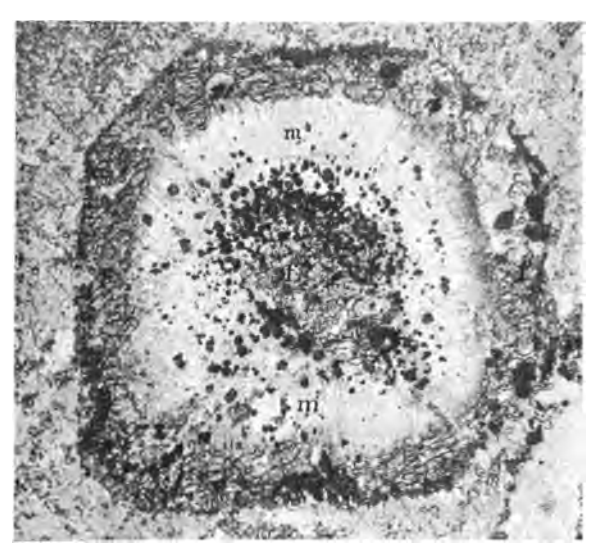


Fig. 2. — Section d'un cristal de dipyre dans lequel le minéral originel a entièrement disparu et a été transformé en un mélange (*f*) de forstérite et de spinelle et en mica (*m*,).

tout à fait invraisemblable l'hypothèse d'un phénomène d'altération secondaire du dipyre (1).

Il me paraît fort probable que ces pseudomorphoses sont

(1) Il n'est point rare de trouver des échantillons dans lesquels le cristal de dipyre est transformé en serpentine englobant des spinelles, par suite de l'hydratation secondaire de la forstérite.

contemporaines du métamorphisme du calcaire qui les renferme. Le dipyre, une fois formé, s'est trouvé soumis à des conditions dans lesquelles il était instable et a été ainsi peu à peu transformé, soit que la nature des émanations ayant produit le métamorphisme du calcaire ait changé, au cours de l'intrusion de la même roche éruptive, soit, plus vraisemblablement, que le calcaire en question ait été soumis successivement à l'action métamorphique des deux roches éruptives différentes (ophite et hornblendite), dont il a été question plus haut. Ces roches éruptives étant actuellement entièrement recouvertes par le gazon, il n'est pas possible de préciser leurs relations mutuelles ; mais il est infiniment probable que, malgré leur similitude de gisement, leur mise en place n'a pas été absolument simultanée.

L'hypothèse de la transformation du dipyre sous l'influence d'émanations consécutives à un phénomène éruptif, peut être appuyée par de nombreux faits analogues connus dans les enclaves des roches volcaniques.

Les calcaires à prehnite des contacts granitiques des Hautes-Pyrénées.

Par M. A. Lacroix.

Les pics d'Arbizon et de Montfaucon, ainsi que la partie septentrionale du massif de Néouvielle, au voisinage de la vallée du Bastan (entre le col du Tourmalet et Barèges), renferment de très remarquables contacts de granite et de calcaires paléozoïques carburés (houiller d'après les dernières recherches de M. Bresson).

Une disposition topographique convenable permet facilement de suivre l'action progressive du métamorphisme des

calcaires et des sédiments de nature variée, qui sont intercalés au milieu d'eux, et de partir des roches absolument intactes pour arriver au contact du granite. On y voit la cristallinité des calcaires augmenter progressivement à mesure que l'on se rapproche du granite ; microscopiques tout d'abord, les minéraux métamorphiques atteignent peu à peu d'énormes dimensions ; loin des contacts, les seuls éléments formés sont ceux : zoïsite, grenat grossulaire, prehnite, qui sont alumineux et calciques, et dont la formation pourrait, à la rigueur, s'expliquer par une simple transformation moléculaire des sédiments, bien que je pense que d'autres actions ont dû intervenir dans leur genèse, puis apparaissent bientôt l'idocrase, des minéraux à alcalis, comme l'orthose, l'albite, et enfin un minéral boré et manganésé : l'axinite.

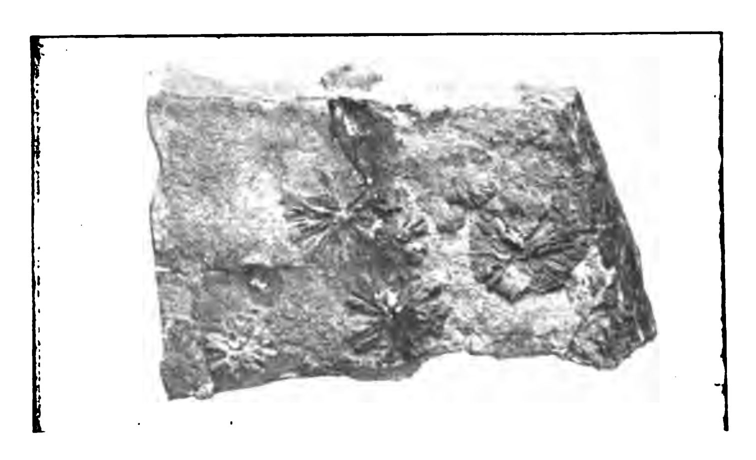
Ces minéraux sont d'abord clairsemés dans le calcaire, mélangés avec les minéraux aluminocalciques, puis ils deviennent très abondants dans les roches plus cristallines. Enfin, au contact immédiat du granite, ils prennent ce développement grandiose qui rend la visite des cirques d'Arbizon et de Montfaucon et du ravin d'Ourditz si profondément impressionnante pour un minéralogiste. Les calcaires primitivement noirs et riches en matière carburée sont alors devenus des marbres blancs.

J'ai décrit en détail récemment les minéraux et les roches (1) de ces contacts; je me propose dans cette note d'appeler spécialement l'attention sur la prehnite, qui y abonde et qui, à ma connaissance, n'a pas encore été signalée comme élément de la transformation de calcaires.

La prehnite se trouve tout d'abord dans les calcaires noirs encore peu métamorphisés et particulièrement au cirque

(1) *Bullet. Carte géol. de France*, n° 71, t. XI ; 1900.

d'Arbizon et au voisinage du col du Tourmalet ; elle est accompagnée parfois de cristaux noirs d'axinite [$p(001)$, $m(\bar{1}10)$, $t(110)$, $h^1(100)$, $f^1(112)$ et d'orthose [$m(110)$, $p(001)$, $a^1(\bar{1}01)$]. Elle constitue de petits corps lenticulaires, qui sont, notamment, extraordinairement abondants à l'entrée du ravin d'Ourditz. Ils restent en relief à la surface des roches lavées par la pluie, leur donnant un aspect scoriacé. Ces petites lentilles, ayant de 1 à 3 millimètres de diamètre moyen, sont parfois si régulières qu'elles peuvent



Rosettes de *prehnite* à la surfaee d'une cornéenne grenatifère. — Ravin d'Ourditz, près du col de Tourmalet. — (Photographie.) (Grossissement de 1 fois 1,2.)

être prises au premier abord pour des corps d'origine organique, rappelant, par leur forme et leur abondance, les nummulites des calcaires tertiaires. Elles sont souvent régulièrement empilées en grand nombre à axes parallèles; mais, souvent aussi, elles s'interpénètrent et se groupent en roues ou en rosettes extrêmement régulières autour d'un axe commun. On les trouve particulièrement nettes au contact

des cornéennes et des lits de calcaires ; la figure ci-jointe en reproduit un bon exemple.

L'examen microscopique m'a fait voir que, dans la plupart des cas, ces lentilles ne sont plus constituées par le minéral dont elles ont la forme ; elles sont remplies par un agrégat de grains (orientés d'une façon quelconque) de zoïsite peu biréfringente, mélangés à un pigment charbonneux, à du grossulaire et parfois à des paillettes micacées. Enfin, çà et là, on voit en outre un minéral incolore, qui joue vis-à-vis d'eux le même rôle au point de vue de la structure que la calcite dans le grès de Fontainebleau ; il offre toujours la même orientation optique par rapport à l'aplatissement des lentilles. J'ai pu trouver quelques échantillons tout à fait intacts de ce minéral ; il ne forme que rarement des cristaux homogènes, ce sont d'ordinaire des lamelles squelettiformes qui englobent un nombre considérable de grains de calcite. Chauffé dans le tube, ce minéral ne donne de l'eau qu'au rouge sombre ; au chalumeau, il se décolore, gonfle, puis fond en un émail blanc bulleux. Les essais chimiques n'y décèlent que la présence de la silice, de l'alumine et de la chaux.

L'aplatissement des lames est perpendiculaire à la bissectrice aiguë *positive :* $2E = 123°$ environ. Les sections perpendiculaires à l'aplatissement ont toutes une extinction rigoureusement longitudinale ; le minéral est donc orthorhombique. Le plus grand indice est un peu inférieur au n_g de la calcite, et son plus petit indice, beaucoup plus faible que le n_p du même minéral. Quant à la biréfringence, je n'ai pu la mesurer exactement, faute de sections rigoureusement parallèles au plan des axes optiques dans les nombreuses plaques que j'ai étudiées ; mais elle atteint au moins 0,03. Tous ces caractères ne laissent aucun doute sur la nature de ce minéral, qui est la prehnite.

La prehnite ne se rencontre pas seulement dans cette

zone carburée à métamorphisme incomplet, elle existe aussi dans la zone de marmorisation, mais sous sa forme la plus habituelle de masses fibrolamellaires ; elle est englobée dans de grandes lames de calcite et associée à de l'orthose (un peu sodique), grenue.

La production de prehnite dans des calcaires métamorphiques n'a rien qui doive étonner ; cette substance est, en effet, l'orthosilicate acide $[SiO^4]^3 Al^2Ca^2H^2$, dont le grossulaire est le sel neutre $[SiO^4]^3 Al^2Ca^3$, et le grossulaire est le minéral caractéristique par excellence de ce genre de gisement. Il est fort possible que la prehnite se soit produite dans de semblables conditions dans d'autres localités (1) et qu'elle ait échappé à l'observation des pétrographes, d'autant plus que, dans bien des cas, elle a pu disparaître postérieurement et être, comme ici, transformée en zoïsite, l'un des minéraux les plus communs des calcaires métamorphiques. Ce genre de pseudomorphose qui, lui non plus, n'avait jamais été observé, doit être facilité par la parenté de composition des deux minéraux ; la zoïsite, en effet $[SiO^4]^3 Al^2Ca^2 [Al.OH]$, pourrait être considérée comme une prehnite dont les 2 molécules d'hydrogène seraient remplacées par le radical bivalent $[Al.OH]$; quant à la transformation de la prehnite en grossulaire, elle s'explique encore plus facilement, puisqu'elle résulte de la substitution de 1 molécule de calcium bivalent à 2 molécules d'hydrogène.

Remarquons que les calcaires métamorphiques de l'Arbizon et du ravin d'Ourditz se signalent par l'association de nombreux types acides, neutres ou basiques d'orthosilicates aluminocalcaires.

(1) Je l'ai trouvée comme élément essentiel des cornéennes feldspathiques à grenat, etc., des contacts granitiques de Bordères, dans la vallée du Louron (Hautes-Pyrénées).

Prehnite.........	$[SiO^4]^3Al^2Ca^2H^2$
Grossulaire......	$[SiO^4]^3Al^2Ca^3$
Zoïsite..........	$[SiO^4]^3Al^2Ca^2[Al.OH]$
Epidote..........	$[SiO^4]^3(Al, Fe)^2Ca^2[Al.OH]$
Idocrase.........	$[SiO^4]^5Al^2Ca^6[Al.OH,F]$

Il est à noter l'absence complète, dans cette association, d'un autre silicate aluminocalcique, l'anorthite, qui est considéré comme un polysilicate ($Si^2O^8Al^2Ca$), à cause de son isomorphisme avec l'albite, mais dont la formule pourrait aussi s'écrire sous la forme de celle d'un orthosilicate $[SiO^4]^2Al^2Ca$. Cette absence est d'autant plus curieuse que l'anorthite est d'ordinaire assez fréquente dans les calcaires métamorphisés par le granite.

En terminant, je rappellerai que c'est dans les fentes des roches de contact de cette même région, à la Piquette déras lids, près Barèges, qu'a été rencontrée jadis la variété de prehnite nommée *koupholite* par Picot de Lapeyrouse : elle forme des agrégats miarolitiques extrêmement légers de petites lamelles $p(001)$ $m(110)$ très minces, implantées sur de grands cristaux limpides de calcite ou sur des roches variées. Ces agrégats englobent souvent des cristaux d'albite, d'épidote, etc. Cette variété finement lamellaire de prehnite permet d'expliquer les curieuses lamelles de prehnite des calcaires du ravin d'Ourditz.

Sur un arséniate d'alumine de la mine de la Garonne.

Par M. A. Lacroix.

En étudiant de près une série de minéraux du cap Garonne, près Hyères (Var), j'ai trouvé un échantillon dont les propriétés ne correspondent à celles d'aucune des espèces signalées dans ce gisement ; il est constitué par une croûte d'un blanc vert clair, recouvrant le poudingue quartzeux (im-

prégné de chalcosite), bien connu. A la loupe, on constate que la surface de cette croûte est pavée de facettes brillantes, trop petites pour pouvoir être mesurées. La structure est fibrolamellaire : il existe un clivage facile, faisant partie de la zone d'allongement des fibres ; je désigne ce clivage par la notation g^1 (010) ; l'allongement a lieu suivant h^1g^1 : les petites faces brillantes qui paraissent normales à g^1 seront prises pour p (001).

Les lames g^1 sont perpendiculaires à la bissectrice aiguë *négative ;* le plan des axes optiques fait avec la trace de p un angle d'environ 70° ; elle est donc très oblique sur l'allongement apparent des lames, qui n'est pas, du reste, jalonné par des contours rectilignes. Des lames taillées dans la zone d'allongement renferment assez fréquemment des sections dont l'extinction est parallèle à la trace du clivage g^1. L'angle des axes optiques (2E) dépasse 115°.

La densité prise à l'aide de l'iodure de méthylène est de 3,011.

Ce minéral est infusible au chalumeau ; il donne, avec la solution d'azotate de cobalt, la coloration bleue de l'alumine. Il est à peine attaqué par l'acide azotique ; mais, après calcination, il se dissout avec la plus grande facilité dans les acides. La solution ainsi obtenue donne les réactions de l'acide arsénique, de l'alumine et indique des traces de fer, de chaux et d'acide phosphorique ; des essais pour les alcalis, la magnésie, le zinc, le plomb, le cuivre, le fluor, l'acide sulfurique, n'ont donné que des résultats négatifs ; enfin dans le tube le minéral dégage de l'eau, ne donnant pas de réaction acide.

L'absence d'oxydes métalliques réductibles rend très pratiques la recherche de l'arsenic dans ce minéral par le procédé préconisé autrefois par M. Damour et consistant à ajouter un peu d'étain à une perte de sel de phosphore,

ayant dissous un peu du minéral. Après un chauffage au feu réducteur, on voit par refroidissement la perle se couvrir d'un voile d'arsenic métallique.

En résumé, le minéral qui fait l'objet de cette note est un arséniate d'alumine, renfermant de l'eau, probablement de constitution (au moins en partie). Sa densité est de 3,011 ; il est monoclinique, avec plan des axes et bissectrice aiguë négative normaux à g^1.

On ne connaît actuellement qu'un seul minéral comparable au nôtre, c'est la liskeardite de Liskearden Cornwall. Elle forme des croûtes cristallines d'un vert bleuâtre : une analyse de W. Flight conduit à la formule :

$$(Al.Fe)\,AsO^4.2(Al.Fe)\,(OH)^3.5H^2O.$$

J'ai essayé de déterminer la densité de ce dernier minéral dont la collection du Muséum possède un échantillon : il est difficile d'en extraire un fragment absolument pur ; j'ai pu constater cependant qu'elle est très peu supérieure à 3 et voisine de celle de la substance de la Garonne.

La structure est sphérolitique : la bissectrice est négative et le plan des axes optiques ne paraît pas rigoureusement parallèle à l'allongement des fibres ; l'écartement des axes est assez grand.

Tous ces caractères, joints à l'analogie des caractères pyrognostiques me font penser que le minéral de la Garonne est à rapprocher de la liskeardite s'il ne constitue pas une espèce nouvelle. Une analyse quantitative seule permettrait de trancher cette question, l'échantillon à ma disposition ne peut en fournir la matière.

Notre liskeardite n'est accompagnée d'aucun autre minéral sur l'échantillon étudié.

Les autres minéraux oxydés qui, à ma connaissance, ont été

rouvés dans la mine de la Garonne, sont les suivants : ***chessylite***, ***malachite***, ***adamite***, ***olivénite***, ***chalcophyllite***, ***mimétite***, ***pseudomalachite*** (lunnite), ***zeunerite***, ***brochantite***, ***lettsomite***.

Note sur les roches à lépidolite et topaze du Limousin.

Par M. A. LACROIX.

Les granites à deux micas (granulites) du Limousin renferment plusieurs gisements stannifères (Vaulry, Cieux, Montebras); ils se présentent sous la forme classique de filons ou de stockwerks quartzeux, plus ou moins riches en cassitérite, au voisinage desquels le granite et les schistes cristallins voisins sont transformés en *greisen* stannifère. Mais, à côté de ces gisements, dans lesquels la cassitérite se rencontre en quantité suffisante pour avoir fait l'objet de tentatives d'exploitations, il existe dans la même région, ainsi que dans la Loire-Inférieure, une autre catégorie de gisements de cassitérite ; ce minéral s'y trouve disséminé sous forme de cristaux $b^{1/2}$(111) offrant très souvent cet allongement prismatique suivant une zone $b^{1/2}b^{1/2}$ que j'ai signalé antérieurement(1).

Dans la Haute-Vienne, sur les communes d'Ambazac et de Saint-Sylvestre, il existe en outre des roches faiblement stannifères qui renferment de la lépidolite en quantité assez grande pour qu'on ait pu songer à l'exploiter ; ce sont ces roches qui font l'objet de cette note.

Les roches à lépidolite appartiennent à deux types : l'un ne diffère essentiellement de la granulite de la région qu'en ce que le mica y est plus abondant et exclusivement constitué par de la lépidolite, dont les lames atteignent excep-

(1) *Bull. Soc. Min.*, XVII, 39 ; 1894.

tionnellement 1 centimètre de plus grande dimension. Le second type est une roche à grains fins, essentiellement micacé, présentant tous les caractères extérieurs de la lépidolite bien connue de Rosena, en Moravie.

La granulite à lépidolite renferme, comme feldspath unique l'albite, maclée suivant les lois de l'albite et de Carlsbad. Ses cristaux sont souvent aplatis suivant g^1 (010) et moulés par du quartz à structure *granitique;* ils sont quelquefois enchevêtrés dans tous les sens et simulent alors avec le quartz une structure ophitique. Quand le quartz est peu abondant, les lames de feldspath s'orientent, présentant alors une structure pseudo-fluidale, qui rappelle celle des phonolites. Lorsqu'il existe de la cassitérite, elle forme des cristaux souvent très nets, se montrant au microscope assez inhomogènes, englobant tous les autres éléments de la roche. Assez fréquemment on rencontre un autre élément, la *topaze*, qui peut former des masses de quelques centimètres de plus grande dimension, mais qui le plus souvent constitue des cristaux microscopiques, possédant la même structure que la cassitérite.

Quant à la roche à grains fins, elle est peu ou pas feldspathique, surtout constituée par de la lépidolite, avec ou sans quartz.

On y rencontre plus rarement que dans la roche précédente de la cassitérite, ainsi que de petits octaèdres $b^{1/2}$ de zircon, transformés en *malacon*, colloïde, à éclat gras et couleur jaune. Enfin, dans quelques échantillons, apparaît la *topaze*, elle y est extrêmement abondante, sous forme de cristaux rectangulaires, par suite du large développement des faces p et g^3. Les cassures fraîches de la roche montrent les clivages basiques brillants p de la topaze sous forme de parallélogrammes de 93° environ ($g^3g^3 = 93°10'$). Il n'est pas possible d'isoler ces cristaux de topaze ; l'examen

d'une section basique du minéral en montre la cause ; leur périphérie n'est jamais homogène, elle est constituée par une zone dans laquelle la topaze englobe une grande quantité de lames de lépidolite. Cette topaze est extrêmement riche en inclusions liquides à bulle ; l'écartement des axes pour les rayons du sodium (2E) est de 97° en moyenne.

Dans toutes ces roches, la lépidolite constitue des lames dépourvues de formes géométriques ; les macles, suivant la loi habituelle des micas, sont très fréquentes et apparaissent très distinctement dans les lames minces, grâce aux différences de biréfringence des individus constituants et aussi grâce à une très légère obliquité de la bissectrice sur la normale au clivage facile.

La granulite à lépidolite d'Ambazac renferme une substance fibreuse blanche ou rosée dépourvue de formes géométriques nettes et pouvant atteindre la grosseur du poing ; elle constitue dans la roche des cristaux anciens : ce sont des pseudomorphoses d'un minéral dont il ne reste plus rien à l'état intact. Peut-être est-ce de l'orthose ? Au microscope, ces pseudomorphoses sont formées par une substance fibro-lamellaire, mélangée à des grains de quartz ; le plan des lames est disposé dans la zone de fibrosité, la bissectrice est négative et normale au clivage, l'écartement des axes est très grand et la biréfringence voisine de celle du quartz. Ce minéral paraît être, d'après ses propriétés optiques et sa composition chimique, une variété de kaolinite.

Quelle est maintenant l'origine de toutes ces roches à lépidolite ? Elles sont sans aucun doute le résultat d'émanations provenant du magma granitique ; mais je ne pense pas que, comme le greisen, elles proviennent d'une transformation de la granulite elle-même au milieu de laquelle on les rencontre ; je crois plus volontiers qu'elles résultent du remplissage de fentes et qu'elles ont été

formées directement à la façon des pegmatites. L'échantillon représenté par la figure 1 vient à l'appui de cette opinion ; on y voit, comme cela est si fréquent dans les filons pegmatoïdes, l'association de parties à grands éléments (pegmatites) et d'autres à grains extrêmement fins (aplites) ; de plus, dans notre cas, il existe une structure rubanée extrêmement nette.

Fig. 1. — Fragment d'un filon de roche à lépidolite. P, pegmatite de quartz et d'albite (salbande du filon), *f*, zone de pegmatite à grands cristaux d'albite implantés perpendiculairement à la paroi, *a*, aplite non micacée : *l* zones à grains fins, riches en lépidolite. (Photographie réduite au $\frac{1}{4}$ environ).

Les zones de structure et de composition minéralogique différentes se succèdent, parallèles les unes aux autres, rappelant la disposition des filons concrétionnés (*fig.* 1). Le plus souvent, le contact avec la granulite normale se fait par une zone de pegmatite dépourvue de micas, dans

laquelle est surtout concentrée la cassitérite; dans l'échantillon représenté, on voit en outre deux zones de pegmatite riche en grands cristaux d'albite, atteignant 2 centimètres; ils sont aplatis suivant une face g^1, qui est plus ou moins normale à la paroi du filon. Puis se succèdent ensuite des zones finement grenues, alternativement riches en lépidolite ou dépourvues de ce minéral (aplite). Il n'est pas aisé d'obtenir des spécimens semblables à celui représenté ici, les zones aplitiques étant extrêmement tenaces et les zones pegmatiques extrêmement fragiles; elles se détachent généralement l'une et l'autre, lorsque l'on veut isoler des échantillons.

Il semble difficile de trouver un exemple plus net que celui-ci de roche formée sous l'influence des émanations minéralisatrices d'un magma granitique; les roches à lépidolite provenant de ces gisements méritent de devenir classiques, à cause de leur fraîcheur et de leur beauté.

En terminant, je tiens à remercier M. Bouhard, qui m'a communiqué une grande quantité d'échantillons provenant surtout de Saint-Sylvestre et m'a permis ainsi de compléter les observations que j'ai faites moi-même, il y a une dizaine d'années, à Ambazac.

Sur la kaolinite cristallisée de Nossi-Bé.

Par M. A. Lacroix.

La kaolinite en cristaux distincts a été pendant longtemps considérée comme une rareté; elle semble, au contraire, être assez fréquente dans les filons métallifères. Je l'ai signalée (1), il y a quelques années, dans les filons de stibine à gangue

(1) *Bull. soc. minér.*, XX, 119; 1897.

quartzeuse de Saint-Mary-le-Plain (Cantal). M. G. Friedel vient de la signaler, dans les mêmes conditions, à Miramont, près de Souliac. C'est à une autre catégorie de filons qu'appartient le gisement qui fait l'objet de cette note. M. Villiaume, garde de première classe d'artillerie de marine, a bien voulu m'envoyer récemment les échantillons qu'il a recueillis au cours d'une exploration de Nossi-Bé. Il a observé, dans la partie nord-est de l'île, à Ankalampobé, des filonnets de galène et de blende, à gangue calcaire, s'anastomosant au milieu de schistes liasiques.

La galène s'y présente parfois en cristaux très nets pa^1; la blende est plus rarement bien cristallisée; mais elle forme, çà et là, des masses clivables d'un jaune rougeâtre, translucides, rappelant celles de Pico d'Europa. La calcite qui sert de gangue à ces minerais est à grandes lames; ses filonnets sont remplis de vides miarolitiques que tapissent des rhomboèdres b^1 (011) du même minéral, parfois saupoudrés de cubes de pyrite. Ces cavités sont fréquemment aussi remplies par de la *kaolinite*, englobant çà et là des cristaux de galène et de blende.

Cette kaolinite constitue des lamelles hexagonales beaucoup plus grosses que celles des gisements auvergnats; elles permettent aisément l'étude de leurs propriétés optiques en lumière convergente. Elles sont peu cohérentes, et il suffit de serrer entre les doigts les masses qui les constituent pour mettre en liberté leurs petites lamelles nacrées. Leurs propriétés optiques et leur composition chimique sont celles de la kaolinite normale et ne présentent rien de particulier.

Recherches sur les solutions (1).

Par M. G. Wyrouboff.

Je me propose d'exposer ici non pas une théorie générale, mais quelques idées particulières sur les solutions, fort différentes de celles qui ont cours aujourd'hui, et quelques faits expérimentaux qui me paraissent les confirmer. Les conceptions modernes, qu'on désigne sous le nom « d'équilibres chimiques », bien improprement du reste, car il s'agit, en grande partie, de phénomènes purement physiques, sont incontestablement vraies dans leurs grandes lignes et ne peuvent pas ne pas l'être, car elles découlent directement des lois certaines de la thermodynamique. Leur tort est d'être par trop générales, de n'envisager qu'un côté des choses et d'écarter systématiquement toutes les propriétés de la matière autres que celles de masse et d'énergie. Elles peuvent être comparées à une théorie balistique qui ferait abstraction de la résistance de l'air ou à une théorie des machines qui négligerait le frottement. Elles définissent l'équilibre comme un état persistant indéfiniment et disparaissant par l'intervention d'une force infiniment petite; or, cette définition, rigoureusement exacte au point de vue mécanique, est radicalement fausse appliquée aux phénomènes d'ordre physique. Pour déplacer une locomotive en repos, même sur des rails, il faut non pas un infiniment petit, mais un effort considérable que la mécanique ne prévoit pas et que l'étude du phénomène purement physique du frottement permet seule de prévoir. Ces retards, ces perturbations plus ou moins appréciables constituent, en matière de phénomènes physiques — et la solution n'en est qu'un cas particulier — un fait capital et

(1) Communication faite dans la séance du 8 novembre 1900.

caractéristique qu'on néglige, et qu'il importe, avant tout, d'élucider aussi exactement que possible.

Et d'abord, qu'est-ce qu'une solution? Actuellement, on la considère comme un mélange de deux ou de plusieurs corps en proportions indéfinies, et constituant un milieu homogène.

Cette définition, extrêmement générale, est très suffisante tant qu'on s'en tient à l'étude des propriétés communes entre les phénomènes les plus divers; elle devient tout à fait inacceptable dès qu'on se propose de chercher les caractères qui différencient ces phénomènes; car elle nous force de ranger sous la même rubrique l'occlusion de l'hydrogène dans le palladium, la solution du chlorure de sodium dans l'eau et la solution du zinc dans l'acide chlorhydrique.

La dissolution n'est nullement un phénomène vague de mélange; elle a une signification physique très précise : elle est la désagrégation et la mise en liberté des molécules qui constituent les corps solides, quelle que soit, d'ailleurs, la nature de ces corps : cristalline, colloïdale ou vitreuse. De cette définition très simple découlent immédiatement un certain nombre de conclusions nécessaires.

Il est évident que la destruction de la cohésion qui s'exerce entre les molécules suivant certaines directions déterminées, comme dans les cristaux, ou suivant toutes les directions, comme dans les corps non cristallisés, exige un travail plus ou moins considérable. Toute solution doit donc se faire toujours avec absorption de chaleur. Il suit de là que le dégagement de chaleur qu'on observe parfois est dû à quelque phénomène secondaire : changement polymorphique, combinaison avec le dissolvant ou quelque autre réaction chimique qu'il s'agit de déterminer dans chaque cas particulier. Pour la même raison, tout corps doit être plus soluble à chaud qu'à froid, et les exceptions qu'on constate tiennent à la formation d'une autre forme ou d'un autre hydrate moins

soluble. M. Le Chatelier a montré, du reste, que l'augmentation ou la diminution de la solubilité était en rapport direct avec le signe de l'effet thermique qui se produit au moment de la dissolution. L'expérience confirme pleinement cette conclusion : on ne connaît aucun corps monomorphe, anhydre ou ne possédant qu'un seul hydrate à toutes les températures, qui dégage de la chaleur en se dissolvant et présente une courbe de solubilité anormale.

On peut objecter, il est vrai, que cette conclusion n'est nullement nécessaire, puisqu'il existe, à côté du travail de désagrégation, une contraction de la solution accompagnée d'un effet thermique plus ou moins considérable et de signe contraire. Mais rien ne nous démontre que ce singulier phénomène de contraction, d'ailleurs parfaitement inexplicable jusqu'ici, soit imputable au liquide, et il peut n'être qu'apparent. Le volume que nous observons dans un corps solide est composé de deux facteurs, du volume v de la somme des molécules et du volume v' de la somme des espaces intermoléculaires. Ce dernier disparait par la solution, de telle sorte que si V est le volume du dissolvant, le volume de la solution sera $V + v$, par conséquent moindre que la somme des deux volumes primitifs, à condition, bien entendu, que les molécules détachées du solide passent dans la solution sans se modifier. Cette interprétation, provisoirement hypothétique, pourrait être soumise à une vérification expérimentale; un *même* corps, à l'état cristallisé et à l'état vitreux, devrait donner des contractions différentes, puisque l'état vitreux présente une densité moindre et un facteur v' plus grand.

En second lieu, la solution et la fusion sont des phénomènes semblables et ne se distinguent que par l'agent qui détruit la cohésion. Dans les deux cas, le résultat ultime est le même : la mise en liberté des molécules du corps solide.

Les recherches modernes ont montré, en effet, que le passage de l'état dissous à l'état fondu se fait d'une façon continue, sans aucun point de transformation. En troisième lieu, les mélanges de deux gaz ou d'un gaz et d'un liquide ou de deux liquides ou de deux solides, quoique présentant certaines analogies générales avec les solutions proprement dites, sont des phénomènes d'une tout autre nature, n'exigeant aucun travail de désagrégation, accompagnés même, comme dans le cas des mélanges isomorphes qu'on a aussi rangés parmi les « solutions solides », du travail inverse de construction du réseau cristallin.

La définition de la solution, telle que je viens de la donner, laisse complètement indéterminée la nature des molécules qui entrent dans la contexture des corps solides; elle suppose seulement que, dans l'acte de la dissolution simple, et en dehors de tout autre phénomène accessoire (changement polymorphique, combinaison, dissociation), ces molécules, quelles qu'elles soient, passent sans aucun changement dans le liquide. Y restent-elles indéfiniment dans cet état ou bien se transforment-elles partiellement ou totalement dans certaines conditions déterminées? C'est là une autre question que j'examinerai tout à l'heure.

Pour le succès de nos études, non seulement sur ce fait spécial de la solution, mais encore sur tous les phénomènes de physique moléculaire, il est indispensable que nous ayons une idée nette sur ces molécules; car, suivant l'opinion à laquelle nous nous serons arrêté, nous pourrons donner des interprétations fort différentes du résultat des mêmes expériences. Il n'y a ici que deux hypothèses de possibles. Ou bien ces molécules sont les molécules chimiques elles-mêmes, ou bien elles sont des unités physiques beaucoup plus complexes, composées d'un nombre plus ou moins considérable de molécules chimiques.

Il n'est pas difficile de montrer que la première hypothèse est inadmissible. Si les éléments constitutifs des corps solides étaient des molécules chimiques, toujours identiques à elles-mêmes, il serait impossible de comprendre les cas, de plus en plus nombreux, où une combinaison chimique possède non seulement de nombreuses formes incompatibles entre elles, mais encore des propriétés physiques très différentes. Comment le nitrate d'ammoniaque, corps relativement complexe, pourrait-il avoir quatre formes cristallines différentes, et le soufre, corps simple, en avoir cinq? Comment le phosphore, autre corps simple, serait-il tantôt rouge et insoluble, tantôt blanc et très soluble? Je sais bien qu'on peut introduire ici une nouvelle hypothèse, et admettre, comme on l'a fait plus d'une fois, que ce sont là des cas de polymérie ou d'isomérie chimique, physique ou géométrique, suivant les besoins de l'interprétation; mais, outre qu'une semblable hypothèse ne s'appuie sur aucun fait connu, elle a le tort très grave de rendre vagues et incertaines les notions de polymérie et d'isomérie, qui ont, en chimie, des significations très précises. Si l'on voulait cependant passer outre à toute vraisemblance, on rencontrerait une difficulté bien autrement grave : la structure cristalline ne se conçoit plus si l'on prend la molécule chimique comme unité. En partant de la considération purement expérimentale de l'homogénéité, on démontre, en effet, avec toute la rigueur des méthodes géométriques, que la matière y est disposée suivant les nœuds d'un réseau dont les trois dimensions sont variables d'un corps à un autre; on démontre aussi que ces nœuds doivent posséder une certaine symétrie. La molécule chimique ne peut pas être douée d'éléments de symétrie; car, parmi ces éléments, il y a nécessairement des axes, c'est-à-dire des directions telles que, par une rotation convenable, on amène en coïncidence deux parties voisines et identiques; or, dans une molécule chimique,

toutes les parties sont dissemblables, puisqu'elles sont représentées par des atomes de dimensions et de propriétés différentes.

Nous pouvons donc conclure, sans hésitation, que la molécule chimique n'est pas l'unité constitutive du cristal, et, d'une façon générale, du corps solide, car l'état amorphe et l'état cristallisé, qui passent le plus souvent de l'un à l'autre par une simple action physique, ne sont que deux manières d'être, deux modes de groupement des mêmes particules matérielles.

La seconde hypothèse devient ainsi une certitude. Les unités physiques qui constituent les édifices des corps solides ne peuvent être assimilées aux molécules chimiques. Elles doivent être nécessairement des agrégats infiniment plus complexes, composés d'un nombre plus ou moins considérable de molécules chimiques. Je donne à ces agrégats le nom de *particules cristallines;* elles sont le dernier terme de la divisibilité physique et sont au cristal ce que l'atome est à la molécule chimique. On conçoit dès lors, sans difficulté, non seulement que ces particules soient douées de symétrie, puisqu'elles sont composées d'éléments semblables, mais encore qu'il puisse y en avoir de plusieurs sortes pour un même composé chimique, puisque le nombre et l'arrangement des éléments constituants peut être différent.

Cette notion fondamentale de la physique moléculaire est si évidente, elle ressort si directement de l'ensemble des faits observés, qu'elle me paraît indiscutable. Mais, pour l'étude rationnelle des solutions, elle ne saurait nous suffire, et il nous faut aborder une question beaucoup plus délicate. Les particules cristallines mises en liberté par l'action du dissolvant ne se réduisent-elles pas, au sein du liquide, en molécules chimiques? C'est l'opinion qu'on adopte généralement aujourd'hui, puisqu'on cherche des rapports directs

entre les propriétés des solutions et le poids moléculaire. Si tel était le cas, il faudrait que, pour un corps dimorphe, le nombre de molécules contenues dans la solution à une température donnée soit le même, quelle que soit la forme qu'on a dissoute. On sait qu'il n'en est rien, que la solution saturée de l'acide arsénieux vitreux contient à toutes les températures près de trois fois plus de substance dissoute que l'acide cristallisé. Mais on peut le démontrer plus directement encore. Supposons deux solutions de même concentration et de même température, contenant chacune l'une des formes d'un corps dimorphe. Précipitons-les par un liquide miscible à l'eau et sans action chimique sur le corps dissous. Si les solutions contiennent des molécules chimiques, il est clair que le précipité sera le même dans les deux cas ; il sera nécessairement différent si les particules détachées du solide se sont conservées dans le liquide. Cette expérience se fait très bien avec le sulfate de soude.

J'ai montré (1) que le sulfate de soude anhydre était tétramorphe. Sa première forme et de beaucoup la plus stable est celle qui porte en minéralogie le nom de thenardite et qui cristallise au-dessus de 33° ; la forme β, probablement clinorhombique, se produit lorsqu'on chauffe la précédente vers 180°, ou lorsqu'on laisse la forme suivante en contact avec l'eau pendant quelques instants ; la forme γ, assez stable à l'air, se produit par refroidissement du sulfate fondu ; elle est orthorhombique, excessivement peu biréfringente, ce qui permet de la reconnaître facilement au microscope polarisant. Enfin, la forme δ est hexagonale et ne peut exister qu'au-dessus de 500°. Cette multiplicité de formes complique un peu l'observation, mais n'en masque nullement les résultats. J'ai fait des solutions, que j'appellerai A et B, à 20 0/0 à la température ambiante (25°), la

(1) *Bull. Soc. min.*, 1890, t. XIII, p. 277.

première avec le sulfate anhydre ordinaire α et la seconde avec le sulfate fondu γ, et je les ai précipitées immédiatement par leur volume d'alcool. Le précipité de la solution A ne renferme que de l'hydrate à $10H^2O$, facilement reconnaissable à sa forme et à son efflorescence; celui de la solution B ne renferme que les cristaux très biréfringents de la thenardite. Si l'on attend pendant quelque temps avant d'ajouter l'alcool, ou si le sulfate fondu est resté longtemps à l'air, les deux solutions ne se distinguent plus ; elles précipitent toutes deux du décahydrate.

Cette expérience très simple montre clairement que le sulfate de soude ordinaire et le sulfate de soude fondu, chimiquement identiques et qui ne diffèrent que par leur réseau et leur particule cristalline, se *comportent différemment en solution*. A 25°, le corps α se combine immédiatement à l'eau; le corps γ ou, plus exactement, le corps β, en lequel il se transforme sitôt qu'il est en contact avec le liquide, se conserve sans modification; mais, comme il ne peut cristalliser à cette température, il se transforme en α dès qu'il est en dehors de la solution. Cette transformation se produit petit à petit dans la solution elle-même et est accompagnée d'hydratation, puisque le corps α, à cette température, ne peut se dissoudre à l'état anhydre.

A moins de supposer dans le sulfate de soude l'existence d'isomères qui seraient, d'ailleurs, absolument différents de tous les isomères connus, il faut reconnaître que l'expérience donne raison à mon hypothèse.

Mais l'expérience est instructive à un autre point de vue encore. On connaît la chaleur de dissolution aussi bien pour le sulfate anhydre cristallisé que pour le sulfate fondu; d'après les déterminations très précises de MM. Thomsen et Berthelot(1), elle est différente dans les deux cas, et dans les

(1) *Ann. Chim., Phys.* (5), t. IV, p. 445; t. XXIX, p. 295.

deux cas positive. D'après ce que nous venons de voir, ces déterminations ne représentent aucunement les conditions thermiques du phénomène de la dissolution ; elles se rapportent à un fait global et ne donnent que la balance entre la chaleur absorbée par le passage du corps solide dans le milieu liquide et la chaleur dégagée par une hydratation dans un cas, par une transformation dimorphique dans l'autre. Cela est si vrai que le sulfate de potasse, qui ne forme pas d'hydrates et qui n'est pas polymorphe, donne une chaleur de solution négative et identique à l'état cristallisé et à l'état fondu.

De tout cela il faut tirer deux conséquences également intéressantes. La première, c'est que les particules cristallines peuvent se conserver intactes dans la solution pendant un temps plus ou moins long ; la seconde, c'est qu'elles sont susceptibles de se transformer, dans de certaines conditions, en d'autres particules morphologiquement différentes, s'il s'agit de corps polymorphes ou différentes chimiquement, s'il s'agit d'hydrates. La connaissance des conditions précises de ces transformations constitue la base de toute la dynamique des solutions, sans laquelle aucune théorie générale n'est possible. Malheureusement, ces connaissances sont encore bien précaires et, ce qui est plus regrettable, elles n'entrent aucunement dans les préoccupations des théories modernes. On considère actuellement ce qu'on appelle la « phase liquide », comme une entité sans qualités particulières autres que celle de masse, par conséquent toujours identique à elle-même dans les mêmes conditions de concentration de pression et de température. Cette façon de voir simplifie beaucoup les choses et permet de leur donner une expression numérique, toujours bien venue dans les sciences exactes ; mais elle a le grave inconvénient de laisser à l'état d'indéchiffrables énigmes un grand nombre de phénomènes

le plus anciennement observés. Sans doute, ces sortes de recherches présentent plus d'une difficulté, et il semble même, au premier abord, qu'elles soient inabordables ; mais un examen plus attentif nous montre qu'elles sont possibles et qu'on peut poser dès à présent quelques jalons.

Le premier point qu'il importe de mettre en lumière, c'est la différence de stabilité entre le réseau cristallin et la particule cristalline. Cette dernière peut exister dans le corps solide ou dans la solution, même alors que les conditions nécessaires à la formation du réseau cristallin ne se trouvent pas réalisées. Les colloïdes, que nous n'arrivons pas à cristalliser, les verres, que nous cristallisons, au contraire, avec la plus grande facilité sitôt que nous modifions les conditions de refroidissement, enfin les solutions qui déposent des vernis amorphes par évaporation rapide et des cristaux par évaporation lente, démontrent clairement qu'il peut y avoir des écarts parfois énormes dans les degrés de stabilité de l'édifice cristallin et les matériaux qui le composent. Nous n'avons donc aucun droit de conclure de l'impossibilité de la formation de cristaux dans une solution donnée, à la non-existence dans cette solution de particules cristallines qui, dans d'autres conditions, pourraient contribuer à former ces cristaux.

Le second point qui nous intéresse ici a trait aux transformations que cristaux et particules peuvent éprouver lorsque la substance dissoute possède deux formes différentes ou deux hydrates différents.

D'après ce que nous venons de voir, il est évident que les conditions de ces deux transformations ne sont pas nécessairement les mêmes et que, par conséquent, une solution hors de laquelle se détruisent les cristaux d'une certaine forme ou d'un certain hydrate peut contenir des particules appartenant à cette forme ou à cet hydrate.

Avant d'aller plus loin, je ferai remarquer que ces deux

notions très générales et très simples rendent facilement compte du phénomène de la sursaturation, sur lequel on a tant écrit et que les théories modernes ont si peu expliqué. Qu'est-ce, en effet, qu'une solution sursaturée, au point de vue des idées actuelles? Voici la réponse que je trouve dans un ouvrage qui est considéré comme classique : « Lorsque la solution homogène d'un corps solide qui ne se trouve pas en excès s'approche, par évaporation ou changement de température, de sa saturation, il n'y a, en général, aucune raison pour que le solide se dépose alors même que le degré de saturation est dépassé. En effet, la saturation se rapportant exclusivement à l'équilibre entre un corps solide et un corps dissous, l'absence du premier fait disparaître toute raison pour l'établissement de cet équilibre. Il s'ensuit qu'on peut préparer avec tous les corps solubles des solutions qui en contiennent plus que ne l'exige l'équilibre, lorsqu'ils sont en excès (1). »

Cette singulière affirmation, si elle signifie quelque chose, ne peut être que la négation complète, absolue du seul fait qui, en matière de solution, soit en dehors de toute contestation, à savoir que la saturation pour un corps donné est une fonction continue de la température et de la pression. Si une solution *saturée* d'un même corps, dans un même liquide, à une même température, peut contenir des quantités de matières différentes suivant les hasards de l'opération, il est évident que nous devons renoncer complètement à une théorie quelconque de la solution. Je m'empresse d'ajouter que tous les théoriciens qui se sont occupés de cette question ne sont pas tombés dans cette étrange erreur. Je constate, en effet, que M. Le Chatelier, dans ses intéressantes *Recherches sur la dissolution* (2), a vu très juste le caractère du phé-

(1) Ostwald, *Lehrbuch d. Allg. Ch.*, 2e édit., 1890, t. II, p. 1036.
(2) Paris, Vicq, 1897, p. 41.

nomène ; mais le point de vue trop abstrait auquel il s'est placé lui a fait négliger d'en rechercher les conditions précises.

En réalité, pour qu'un corps puisse donner une solution sursaturée, il faut :

1° Qu'il possède au moins deux formes ou deux états d'hydratation différents ;

2° Que la forme ou l'hydrate qui se produisent à température plus élevée soient plus solubles que ceux qui se forment à température plus basse ;

3° Que la solution ne soit pas saturée du corps le plus soluble à la température où elle est faite ;

4° Que les particules de la forme cristalline la plus soluble puissent exister à des températures inférieures à celles où la production de leur réseau cristallin devient possible ;

5° Qu'elle ne contienne pas de germes du corps le moins soluble.

Ces conditions réalisées, le mécanisme de la sursaturation se comprend très facilement, comme je vais le montrer par un exemple très simple (nitrate de strontiane). Supposons une substance existant à l'état anhydre avec une courbe de solubilité AB et à l'état d'hydrate avec une courbe de solubilité AC ; le point A qui, dans l'espèce, correspond à environ 36°, est le point de transformation des deux variétés au contact du liquide. Supposons que les deux courbes se prolongent au-delà du point d'intersection, l'un jusqu'à E, l'autre jusqu'à H, ce qui revient à dire que la solution renferme encore des particules du corps anhydre à 20° et des particules hydratées à 45°.

Si nous refroidissons à 36° une solution de sel anhydre *saturée* à une température quelconque comprise entre 45° et 100°, ou bien si nous amenons à 0° une solution de sel

hydrate également *saturée* à une température inférieure à 45°, nous aurons un dépôt de cristaux anhydres dans le premier cas, hydratés dans le second ; aucune sursaturation ne pourra se produire. Si nous abaissons la température de la solution *saturée* à chaud au-dessous de 20°, à 10°, par exemple, elle ne pourra plus contenir de particules anhydres, ces particules se transformant plus ou moins rapidement en particules hydratées, seules stables à cette température, et, comme elles sont infiniment moins solubles, il se déposera

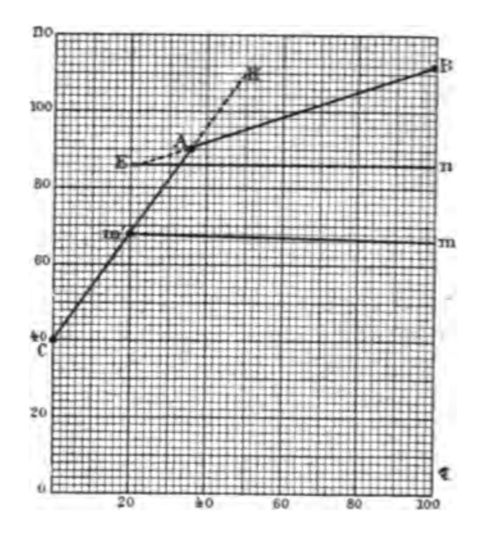


Fig. 1.

des cristaux du corps hydraté. On sait, en effet, que toutes les solutions sursaturées cristallisent spontanément lorsqu'on les amène à une température suffisamment basse. Ici encore, il n'y a donc pas de sursaturation possible, malgré l'absence de tout germe dans la liqueur. Mais les phénomènes

deviennent tout autres lorsqu'on part d'une solution ***non saturée*** du corps anhydre.

Si la concentration aux températures supérieures à 45° est donnée par le point n en refroidissant la solution à 20°, on arrive au point E, qui exprime la saturation par rapport au corps anhydre. Cette solution sera sursaturée, puisque, à cette température, le corps anhydre peut se transformer en corps hydraté de solubilité moindre et dont la saturation est donnée par le point m'. La transformation une fois produite, il cristallise une quantité du corps hydraté exprimée par Em'. On voit également que, dans les mêmes conditions, une concentration m ne pourra plus donner de solution sursaturée, car, à 20°, cette concentration correspond à la saturation du corps hydraté.

Le phénomène de la sursaturation peut donc non seulement être suivi pas à pas dans tous ses détails, mais encore être prévu quantitativement dans chaque cas particulier, en connaissant les courbes de solubilité des différents corps qui sont susceptibles de se produire et les limites de stabilité des particules de chacun d'eux. Il est clair, en effet, que la sursaturation sera d'autant plus grande que plus grandes seront la différence de solubilité entre les deux corps et la stabilité du corps le plus soluble.

Les choses deviennent beaucoup plus compliquées lorsque plusieurs hydrates et plusieurs formes différentes peuvent coexister dans une solution, mais leur marche générale reste toujours essentiellement la même.

On observe cependant parfois des faits qui paraissent tout à fait incompatibles avec l'interprétation que je viens d'exposer, et semblent donner raison à ceux qui prétendent, à l'exemple de M. Ostwald, que la sursaturation est une propriété générale de tous les corps solubles. Je citerai deux de ces faits pour montrer combien une conception rationnelle de

la sursaturation peut être utile dans l'étude des divers états sous lesquels un corps peut se présenter.

Le sulfate de nickel donne, suivant la température de cristallisation, trois corps différents : 1° un hydrate orthorhombique à $7H^2O$ vert émeraude ; 2° un hydrate quadratique à $6H^2O$ d'un vert bleuâtre ; 3° un hydrate clinorhombique également à $6H^2O$ d'un vert jaunâtre. La solubilité va en croissant du premier au troisième ; aussi n'est-il pas étonnant qu'on obtienne facilement des solutions sursaturées. D'après ce que nous avons vu, de semblables solutions ne peuvent déposer, suivant la concentration et la température, que l'hydrate à $7H^2O$ et l'hydrate quadratique à $6H^2O$, puisque l'hexahydrate clinorhombique, étant le plus soluble, ne peut donner qu'une solution saturée. Or, M. Lecoq de Boisbaudran, dans son classique mémoire (1), a montré qu'en introduisant dans une solution très concentrée et sursaturée de sulfate de nickel un fragment de cristal de $SO^4Co, 6H^2O$ ou $SO^4Fe, 6H^2O$, on provoquait le dépôt de cristaux clinorhombiques $SO^4Ni, 6H^2O$. Il semble au premier abord qu'il faille choisir entre ces deux conclusions : ou le fait observé est inexact ou l'interprétation de la sursaturation est fausse. Une troisième conclusion est cependant possible : la solution peut contenir un quatrième corps plus soluble encore que le troisième. C'est, en effet, ce qui arrive et ce qu'il est facile de démontrer expérimentalement. Lorsqu'on évapore à 100° une solution de sulfate de nickel, on voit se déposer des cristaux d'un bleu verdâtre, fort différents de couleur et d'aspect des cristaux clinorhombiques $SO^4Ni, 6H^2O$, qu'on obtient en cristallisant à 70°. Il est vrai qu'on ne peut les extraire de la solution, car, sitôt desséchés, ils se transforment en un corps jaune clair qui est

(1) *Ann. Chim. Phys.* (4), t. XVIII, p. 246 ; 1869.

l'hydrate SO^4Ni, H^2O. Mais on peut les obtenir sans difficulté d'une autre manière. Il suffit de précipiter par de l'alcool bouillant une solution saturée et maintenue aux environs de 100°. On a alors une poudre cristalline très homogène et d'une couleur qui ressemble beaucoup à celle du sulfate cuivrique à $3H^2O$. Cette poudre renferme 37 0/0 d'eau (théorie pour $5H^2O$, 36, 73), et, chose curieuse et inattendue, elle ne se maintient pas à l'air comme l'hexahydrate, *elle s'effleurit*, comme le fait le sulfate de cuivre ordinaire. Le sulfate de nickel possède donc non pas trois, mais quatre états différents, et l'observation de M. Lecoq de Boisbaudran, loin d'être contradictoire avec les idées que je viens d'exposer, les confirme pleinement.

Le second fait est encore plus instructif. L'orthophosphate monopotassique donne avec la plus grande facilité des dissolutions sursaturées. Or, il cristallise à l'état anhydre à toutes les températures et ne présente que la forme quadratique bien connue. M. Muthmann (1) a cité ce fait comme un argument sans réplique contre tous ceux qui seraient tentés de chercher dans la présence de deux hydrates ou de deux formes les causes déterminantes de la sursaturation. Malheureusement pour la thèse de M. Muthmann, l'argument porte à faux, le phosphate monopotassique est dimorphe. La seule chose qui puisse étonner ici, c'est que ce dimorphisme ait échappé à l'observation, tant il est facile de le constater. Il suffit d'examiner au microscope l'évaporation d'une goutte d'une solution concentrée faite à chaud ; on voit se former peu à peu de longues aiguilles en même temps que de petits cristaux quadratiques. Sitôt que les aiguilles touchent ces derniers, elles se dissolvent plus ou moins, comme les rhomboèdres au con-

(1) *Zeit. anorg. Ch.*, 1898, t. XVI, p. 460.

tact des prismes dans une solution de nitrate de potasse. Ces aiguilles ne constituent pas un hydrate ; car, chauffées, elles demeurent transparentes et, observées entre les nicols croisés, ne changent pas de couleur de polarisation ; elles sont donc une autre forme plus soluble que la forme ordinaire et plus stable à température plus élevée. J'étudierai dans une note spéciale leurs propriétés physiques ; il me suffit aujourd'hui de signaler le fait pour montrer combien une étude insuffisante des phénomènes les plus simples peut donner lieu, en ces matières, à des théories aussi ingénieuses qu'inexactes.

La sursaturation devient ainsi un fait très simple qui s'explique sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir des considérations de thermodynamique ou des hypothèses plus ou moins vérifiables. Le seul point qui reste encore obscur, mais qui appartient à un tout autre ordre d'idées, c'est l'action des germes qui provoquent la désursaturation. Exprimé en un langage plus précis, plus conforme à nos connaissances actuelles sur la structure des corps, ce phénomène se réduit à l'action exercée par le réseau cristallin de l'un des corps sur les particules cristallines de l'autre. De cette action, nous ne savons avec certitude qu'une seule chose, c'est qu'elle s'exerce dans un très petit rayon autour du réseau, car une solution maintenue au repos, à une température rigoureusement constante, peut rester partiellement sursaturée pendant des journées, même des semaines après un premier dépôt de cristaux. Mais si le contact d'un réseau cristallin appartenant à l'une des formes d'un corps rend instables les particules des autres formes possibles, il ne faut pas conclure *que ce soit là un fait général et nécessaire*.

Le grand tort de la théorie des « équilibres chimiques » est de s'appuyer sur cette conclusion qui ne s'impose à

aucun degré et ne ressort nullement de l'étude attentive des faits. L'observation nous montre que la stabilité relative des particules des divers états d'un corps, aussi bien de celles qui sont engagées dans la structure réticulaire que de celles qui sont à l'état de liberté, est extrêmement variable. Si les différentes sortes de particules se distinguent peu par leur stabilité, elles pourront, dans un intervalle de température plus ou moins considérable, exister simultanément dans une solution ou se trouver à l'état de cristaux en dehors d'elle. On conçoit facilement que de semblables coexistences auront surtout chance de se produire lorsque les diverses formes ou les divers hydrates seront très voisins, que le travail nécessaire à leur transformation sera peu considérable et, par conséquent, les effets thermiques qui accompagnent ces transformations très faibles.

Je vais citer quelques exemples qui montrent qu'il en est bien ainsi.

CORPS POLYMORPHES. — J'ai montré il y a longtemps (1) qu'une solution de bichromate de rubidium donnait à toutes les températures deux sortes de cristaux, les uns orangés et clinorhombiques, les autres rouges et tricliniques. Malgré la différence de symétrie, les deux formes sont fort semblables, et toutes deux extrêmement stables jusqu'aux environs de 300°. Elles ne passent de l'une à l'autre à aucune température, mais se transforment toutes deux en une troisième forme, triclinique aussi, et identique à la forme habituelle du bichromate potassique. Les densités sont très voisines (3,021 pour les cristaux orangés, 3,125 pour les cristaux rouges). La solubilité est identique, comme on le voit d'après les chiffres suivants :

(1) *Bull. Soc. min.*, 1881, t. IV, p. 120 ; 1890, t. XIII, p. 302.

Température.	Triclinique p. 100 d'eau.	Clinorhombique p. 100 d'eau.
14°..................	4,40	4,45
26°..................	7,91	8,00
43°..................	16,57	16,32

Si l'on met en contact les cristaux de l'une des formes avec la solution saturée de l'autre, ils y restent indéfiniment sans présenter le moindre indice de transformation, quelle que soit la température à laquelle on opère. J'ai observé des solutions qui avaient été faites et maintenues pendant plusieurs semaines à des températures variant de 10 à 40°. M. Le Chatelier en a conservé pendant plus d'un an.

On voit ainsi que l'équilibre entre une phase liquide et deux phases solides différentes peut s'établir à des températures très variables. Le même fait se représentera certainement chaque fois que les deux formes seront très voisines par l'ensemble de leurs propriétés physiques et spécialement par leur solubilité.

On arrive aux mêmes conclusions en étudiant plus complètement qu'on ne l'a fait jusqu'ici les équilibres des hydrates.

HYDRATES. — Je choisis ici trois exemples, les deux premiers parce qu'ils ont déjà été étudiés en détail et qu'on a tiré de leur étude des conséquences très inexactes, le troisième pour montrer que les mêmes faits ne se rencontrent pas seulement dans les sels de ce qu'on a appelé les « terres rares », qu'ils existent aussi parmi les composés les plus vulgaires de la chimie minérale.

Sulfate de cérium. — Il y en a six que je vais passer en revue.

1° *Sel anhydre.* — Il se forme, lorsqu'on chauffe au-dessus de 300°, l'un quelconque des hydrates, mais ne se dépose de la solution à aucune température. Il est extrême-

ment soluble à froid, et d'autant plus que la température est plus basse ; les chiffres donnés pour la solubilité à 0° sont d'ailleurs fort variables : 16 0/0 (Jolin), 40 0/0 (Muthmann), 60 0/0 (Brauner). M. Muthmann explique cette singulière propriété en reproduisant l'interprétation donnée par M. Rozeboom pour le cas analogue du sulfate de thorium : le système sel anhydre, solution et vapeur, serait instable à toutes les températures, et d'autant plus que la température est plus élevée. Il ajoute qu'il se trouve probablement quelque part au-dessus de 100° une température où le système devient stable. J'avoue que j'ai quelque peine à comprendre comment un corps anhydre qu'on ne parvient pas à faire cristalliser, en évaporant la dissolution à 100°, existe à l'état dissous et en grande quantité à 0°. Cela est peut-être conforme à la théorie, mais cela est à coup sûr contraire à tout ce que nous savons. En réalité, il n'y a rien là de semblable, comme il est aisé de le démontrer. Lorsqu'une dissolution saturée ou non, faite avec le sel anhydre à 0°, est additionnée d'alcool, on obtient un précipité dans lequel on reconnaît au microscope les formes si caractéristiques des hydrates à $12H^2O$ et à $8H^2O$. Si, au lieu de précipiter la solution, on l'évapore sur l'acide sulfurique à basse température, ce sont encore ces deux hydrates qui se déposent côte à côte, l'hydrate à $8H^2O$, le moins soluble, apparaissant le premier. La considération des phases n'a donc fait ici que compliquer et rendre parfaitement inintelligible un phénomène très simple et très naturel : le sulfate de cérium anhydre, mis en contact avec l'eau, ne se dissout pas, il s'hydrate avec grand dégagement de chaleur et forme, suivant la température, des composés ou des mélanges de composés dont la solubilité décroît à mesure que diminue la quantité d'eau qu'ils contiennent. Si l'hydratation, au lieu d'être instantanée, était très lente, comme dans le cas du sulfate ferrique,

on constaterait que le sel anhydre est complètement insoluble. Le seul point qui appelle ici l'attention est l'existence simultanée de deux hydrates; mais c'est là précisément la question à l'étude, et nous allons la retrouver plus loin.

2° $(CeO.SO^3)^3,4H^2O$. — C'est l'hydrate qu'on obtient en exposant à la température ambiante le sel à $8H^2O$. Cette transformation, qui ne se produit que grâce à la température estivale, exige un temps extrêmement long; elle se produit rapidement à 100°. Dans les deux cas, les cristaux ont conservé leurs formes, mais sont devenus blancs et opaques; examinés au microscope, ils se trouvent composés d'aiguilles transparentes, agissant assez fortement sur la lumière polarisée, éteignant suivant leur longueur et présentant deux axes optiques très écartés. En présence de l'eau, ils se transforment immédiatement, suivant la température, dans l'un des trois hydrates suivants; leurs particules cristallines ne peuvent donc pas exister en solution.

3° $(CeO.SO^3)^3,5H^2O$. — Lorsqu'on évapore à partir de 70°, une solution de sulfate céreux, on obtient des aiguilles clinorhombiques parfois assez grosses, qui renferment 13,70 0/0 d'eau. Si la solution est rigoureusement exempte d'acide sulfurique libre, on a toujours, contrairement à l'affirmation de M. Muthmann, un mélange de cet hydrate avec l'hydrate à $8H^2O$, tous deux facilement reconnaissables au microscope. J'ai, par exemple, fait bouillir pendant six heures deux solutions à 4 et 5 0/0, faites à la température ordinaire avec le sulfate anhydre; les cristaux aciculaires déposés donnaient à la calcination 16,63 et 16,58 0/0 d'eau. C'est ce qui explique l'erreur de Hermann (1) et de Jolin (2), qui ont admis l'existence d'un hydrate à $6H^2O$ (Th. 16,00 0/0); le premier avait

(1) *Journ. f. prakt. Ch.*, 1869, t. XXX, p. 184.
(2) *Bull. Soc. chim.* (2), t. XX, p. 539; 1874.

trouvé dans ses cristaux 16,50 et le second 15,82 0/0 d'eau. Pour avoir le pentahydrate sans mélange, il faut le redissoudre à chaud et le recristalliser vers 100°, 2 à 3 fois, ou ajouter à la solution de l'acide sulfurique et évaporer au bain-marie, ce qui a l'avantage de rendre le sel beaucoup plus soluble et de donner des cristaux plus volumineux.

La détermination de la solubilité sur des cristaux tout à fait exempts d'acide sulfurique libre m'a donné :

Température.	SO^4Ce p. 100 H^2O.	Muthmann.
49°	3,62	»
50°	»	5,56
60°	»	3,45
68°	1,82	»
78°	1,64	»
80°	»	1,70
93°	0,79	
100°	»	0,77

4° $(SO^3.CeO)^3,8H^2O$. — C'est de beaucoup le plus stable de tous. Il se dépose seul ou mélangé aux autres hydrates presque à toutes les températures, sous forme de pyramides tantôt un peu laiteuses, tantôt très limpides, auxquelles Marignac a attribué la symétrie orthorhombique, et qui sont en réalité des macles tricliniques très complexes. La détermination de la solubilité, faite avec beaucoup de soin, un très grand nombre de fois, avec des sels très purs, m'a donné des résultats qui n'ont aucun rapport avec ceux que M. Muthmann a obtenus.

Température.	SO^4Ce p. 100 H^2O.	Muthmann.
15°....................	11,46	»
18°....................	»	17,32
24°....................	8,10	»
25°....................	7,93	»
28°....................	7,69	»
30°....................	»	16,18
42°....................	5,36	»
50°....................	»	12,48
56°....................	3,99	»
60°....................	»	9,40
68°....................	2,77	»

Ces chiffres, comme ceux pour l'hydrate précédent, sont non seulement différents en valeur absolue, mais encore donnent des courbes de tout autre forme.

Les différences peuvent tenir ici à deux causes : ou bien la solution de M. Muthmann renfermait de l'acide sulfurique libre, ou bien son cérium contenait de la thorine ; dans les deux cas, en effet, la solubilité augmente dans des proportions énormes. Quoi qu'il en soit, il n'est pas douteux que le sel de M. Muthmann était très impur, car il lui donnait, à la calcination, une perte de 19,57 0/0 et 19,80 0/0, au lieu de 20,27 0/0 qu'on doit obtenir et qu'on obtient toujours comme nous l'avons montré, M. Verneuil et moi (1).

5° $(SO^3CeO)^3,9H^2O$. — C'est certainement la présence d'impuretés dans son sulfate qui a conduit M. Muthmann à nier l'existence de cet hydrate, décrit par un grand nombre de savants, et à émettre l'opinion qu'il ne se produit que lorsque le cérium contient une certaine quantité de lanthane.

Cette supposition ne sera admise par aucun de ceux qui ont manié les terres rares, et qui savent avec quelles peines

(1) *Bull. Soc. chim.* (3), t. XVII, p. 679 ; 1899.

on arrive à séparer le lanthane du didyme et quelle couleur foncée le didyme, même en petite quantité, communique à l'oxyde céroso-cérique calciné. Mon oxyde, chauffé à 1500°, était parfaitement blanc; il ne renfermait donc pas de didyme, par conséquent pas de lanthane, et, pourtant, il donnait, dans un intervalle de température assez étendu, le sel hexagonal $(SO^3CeO)^3,9H^2O$ mesuré par Marignac. Une particularité très curieuse caractérise cet hydrate : il ne se dépose jamais qu'en petite quantité et est toujours accompagné d'une grande quantité de l'hydrate à $8H^2O$, sans que les cristaux, une fois formés, se détruisent mutuellement.

La solubilité aux diverses températures est la suivante :

Température.	SO^4Ce p. 100 H^2O.
23°	7,39
34°	5,70
39°	5,29
46°	5,04
53°	4,60
68°	3,77

On voit ainsi qu'il est un peu moins soluble que l'hydrate à $8H^2O$ jusque vers 45° et un peu plus soluble au delà. Mais si ces deux hydrates sont, à bien des égards, fort semblables, la stabilité du réseau y est très différente, comme on peut s'en convaincre par leur résistance à la chaleur. Placés sous l'eau et chauffés à 100°, les cristaux $9H^2O$ se transforment rapidement en sel à $5H^2O$, tandis que, pour les cristaux à $8H^2O$, la transformation n'est que partielle au bout de plusieurs heures. C'est cette instabilité réticulaire qui explique la difficile cristallisation du sel.

6° $(SO^3CeO)^3,12H^2O$. — Masses asbestoïdes qu'on obtient en cristallisant par évaporation à basse température. Il se dépose presque toujours en même temps des pyramides de

l'octohydrate en nombre d'autant plus considérable que la température est plus élevée. A partir de 20°, le dodécahydrate ne se produit plus. Je n'ai pas déterminé sa solubilité, qui est, en tous cas, notablement supérieure à celle de tous les hydrates précédents.

Au point de vue du sujet qui nous occupe, les sels à 8 et à $9H^2O$ sont particulièrement intéressants, non seulement parce qu'ils s'obtiennent facilement exempts des autres hydrates, mais encore parce qu'ils possèdent la propriété de cristalliser ensemble à des températures très diverses. Cherchons donc à pénétrer plus avant dans le mécanisme de leurs transformations.

Voici d'abord une expérience très suggestive : Dissolvons à 24° du sel *anhydre* en quantité suffisante pour que la solution, placée dans un thermostat à 24°, commence à cristalliser au bout de quelque temps. Après vingt-quatre heures, l'équilibre est atteint, et la concentration ne change plus les jours suivants. A ce moment, on trouve une quantité plus ou moins considérable de cristaux qui perdent 20,27 0/0 d'eau et sont, par conséquent, à $8H^2O$; la liqueur contient 10 0/0 de SO^4Ce. Or, à cette température, nous l'avons vu, la solubilité du sel à $8H^2O$ est de 8,16 0/0. Il faut donc qu'il y ait en solution, outre l'octohydrate, du sulfate céreux à un autre état. Ce ne peut être le pentahydrate, qui ne commence à se former qu'au-dessus de 70° ; ce ne peut être non plus le dodécahydrate, qui n'existe plus au-dessus de 20° ; il faut donc que ce soit l'hydrate hexagonal à $9H^2O$. Pour nous en convaincre, précipitons la solution par un excès d'alcool. Le magma cristallin est composé de cristaux pyramidaux et de fines aiguilles éteignant suivant la longueur ; une fois desséché, il contient 21,40 0/0 d'eau, ce qui correspond à 58 0/0 environ de sel à $9H^2O$ (1).

(1) Les pesées ont été faites au demi-milligramme, et la prise d'essai de

Il suit de là que la solution renfermant *des particules cristallines des deux hydrates peut exister à l'état d'équilibre avec les cristaux de l'un d'entre eux*. Cet équilibre est-il fortuit? n'existe-t-il, à une certaine température, que pour un certain mélange, qui, par hasard, s'est trouvé réalisé? Il est facile de s'en rendre compte. Prenons la solution saturée de l'octohydrate renfermant 8,16 0/0 de sel, séparons par décantation le liquide du l'excès des cristaux, ajoutons-y des cristaux pulvérisés de sel à $9H^2O$ et maintenons le tout à 24°. Après quelques heures, elle ne change plus de concentration, elle est arrivée à un nouvel état d'équilibre et contient 9,08 0/0 de SO^4Ce, soit une augmentation de 10 0/0; décantée et mise en contact, toujours à la même température, avec des cristaux du sel à $8H^2O$, sa concentration ne varie pas. Si cette augmentation est due à la présence de l'hydrate à $9H^2O$, les cristaux, précipités par l'alcool, devraient avoir 20,42 0/0 d'eau correspondant à 89 0/0 d'octohydrate; or, on constate, non sans étonnement, qu'ils en contiennent 20,62 0/0, ce qui correspond à 78 0/0. Cet écart ne peut s'expliquer qu'en admettant que l'hydrate à $8H^2O$, en se dissolvant, se transforme partiellement en hydrate à $9H^2O$ et que sa solution saturée à 8,16 0/0 contient déjà une certaine quantité de ce dernier. C'est ce que l'expérience vérifie, les cristaux précipités de cette solution par l'alcool renfermant 20,51 0/0, c'est-à-dire 12 0/0 de nonahydrate.

Ainsi donc, voici trois solutions, toutes saturées à 24° et maintenues en contact avec un grand excès de cristaux d'un

1 gramme à 1gr,5; les calculs de cet ordre ne sont donc exacts qu'à 2-3 0/0 près. En effet, si nous désignons par *b* le poids de l'eau en centièmes dans l'hydrate à $8H^2O$, par *a* son poids en centièmes trouvé, la quantité de nonahydrate dans 100 parties du mélange est donnée par la valeur :

$$\frac{100\,(a - b)}{1,98} \quad (Ce = 92,7).$$

même hydrate, ayant cependant trois concentrations différentes, 8,16, 9,08 et 10/0. Mais on peut obtenir à la même température une solution bien plus concentrée encore. Si l'on dissout le sel anhydre dans de l'eau à 13° et si l'on évapore cette solution à l'étuve à 24°, jusqu'à ce qu'il se dépose une certaine quantité de cristaux, on constate, lorsque l'équilibre s'est définitivement établi, que ces cristaux appartiennent encore à l'octohydrate et que le liquide renferme non plus 10 0/0, mais 12,3 0/0 de SO^4Ce. Précipité par l'alcool, il donne les aiguilles caractéristiques du nonahydrate; elle renfermait 22,03 0/0 d'eau (au lieu de 22,25). A basse température, le sel anhydre s'est transformé en grande partie en dodécahydrate qui, à 24°, s'est transformé à son tour en nonahydrate.

Que conclure de tout cela, si ce n'est que la saturation n'est pas seulement un rapport numérique entre solide et liquide, mais un phénomène beaucoup plus complexe dans lequel la qualité des particules dissoutes joue un rôle considérable? Cette qualité peut être très différente à une même température, car elle dépend non de la nature du corps avec lequel la solution est en contact, mais de l'état sous lequel il a passé dans le liquide. Nous venons de voir, en effet, que chacun des hydrates du sulfate céreux, mis en contact avec l'eau à une même température, perd ou gagne des quantités d'eau essentiellement différentes. Cela tient à ce fait, que je considère comme capital et auquel on n'a fait nulle attention, que la stabilité des particules cristallines qui se trouvent en solution n'est nullement comparable à la stabilité du réseau cristallin sur lequel elles se disposent. Ce réseau peut être fort instable dans des conditions de température où la particule possède encore une grande stabilité — c'est le cas du nonahydrate $(SO^4)^3Ce,9H^2O$, qu'on retrouve toujours dans la solution et qu'on a tant de peine à cristalliser.

Sulfate de thorium. — En prenant en considération tous les hydrates dont l'existence a été signalée, il se présente sous six états différents.

1° *Sel anhydre.* — On ne l'obtient qu'en chauffant vers 400° l'un des hydrates suivants. Il est d'apparence amorphe, mais montre au microscope une structure nettement cristalline ; il a, comme le sulfate céreux anhydre, la propriété de se dissoudre en grande quantité dans l'eau à 0° (environ 20 0/0), très peu dans l'eau chaude. Les remarques que nous avons faites plus haut à propos de sel céreux doivent être rappelées ici, à cela près qu'on ne connaît pas jusqu'ici un hydrate supérieur à $9H^2O$ et plus soluble que lui, car il paraît extrêmement instable et ne pourra être obtenu qu'en évaporant la solution à très basse température. Mais son existence n'est pas douteuse, et il suffit d'observer au microscope le sel préalablement déshydraté, humecté d'une goutte d'eau très froide, pour le voir changer complètement d'aspect avant de se dissoudre, donner des filaments d'un aspect très caractéristique et qui ne ressemblent à aucun des hydrates connus. Si la quantité du sel est trop considérable pour se dissoudre entièrement, on voit les filaments se changer petit à petit en cristaux de l'octo ou du nonahydrate. Comme pour le sel céreux, il ne s'agit donc nullement ici d'une « solution du sel anhydre en équilibre instable à toutes les températures avec l'un des hydrates cristallisés », mais d'une hydratation accompagnée, d'ailleurs, ici aussi, d'un grand dégagement de chaleur, et de la formation de deux hydrates, qui sont, comme nous allons le voir, à peu près également stables, du moins aux basses températures.

2° $(SO^4Th)^2,2H^2O$. — C'est le corps qu'on obtient en chauffant à 100° l'un quelconque des hydrates cristallisés. Au contact de l'eau, il se comporte comme le sel anhydre, il s'hydrate avant de se dissoudre et s'hydrate même beau-

coup plus rapidement, ce qui explique sa plus facile solubilité.

3° $(SO^4Th)^2,4\,^1/_2H^2O$. — Cette formule, donnée jadis par Delafontaine, à la suite d'un grand nombre d'analyses, a été niée par MM. Demarçay (1) et Rozeboom (2), qui n'ont admis dans le sel que $4H^2O$. C'est cependant la formule de Delafontaine qui est la vraie, comme je m'en suis assuré par un grand nombre de déterminations de l'eau dans une dizaine de produits préparés avec des thorines de provenances différentes, soigneusement examinés au microscope au point de vue de leur homogénéité. J'ai eu des chiffres qui ont varié de 16,19 à 16,05, la théorie pour $4\,^1/_2H^2O$ étant 16,03 (Th = 116) et pour $4H^2O$, 14,51. Les deux auteurs que je viens de citer ont déterminé la solubilité de cet hydrate et tracé une courbe d'aspect insolite descendant avec une extrême rapidité, à mesure que monte la température ; en réalité, cette courbe est le résultat de phénomènes fort complexes. Aux températures moyennes 30-40°, le corps s'hydrate avant de se dissoudre, comme le sel anhydre et le dihydrate ; aux températures supérieures et à partir de 50°, il se dissocie, donnant une liqueur de plus en plus acide, dans laquelle le sulfate thorique, contrairement à ce que nous avons vu pour le sulfate céreux, devient rapidement de moins en moins soluble. De plus, la molécule ThO se polymérise, et l'on obtient des mélanges renfermant des quantités de $(ThO)^4 2SO^4H^2$ d'autant plus grandes que la température a été plus élevée et que l'expérience a duré plus longtemps.

4° $(SO^4Th)^2,6H^2O$. — Cet hydrate a été observé une fois par M. Rozeboom ; il n'a pu être reproduit depuis. Je ne le cite donc que pour mémoire.

5° $(SO^4Th)^2,8H^2O$. — Observé par Clève, Nilson et Rozeboom, cet hydrate est décrit comme donnant des cristaux

(1) *Comptes Rendus*, 1883, p. 1860.
(2) *Zeit. phys. Ch.*, 1890, t. V, p. 202.

mamelonnés dont on ne peut reconnaître la forme, même au microscope ; il se produit dans des conditions indéterminées, tantôt seul, tantôt accompagné de l'hydrate suivant. Ces indications, qui peuvent induire en erreur ceux qui voudraient reprendre ces expériences, doivent être rectifiées à deux points de vue différents. En premier lieu, le sel n'est ni mamelonné ni indéterminable, il cristallise, au contraire, avec une rare facilité, bien plus facilement que le sel à $9H^2O$, et donne des cristaux clinorhombiques qui atteignent souvent 1 centimètre de côté. Lorsqu'ils sont petits, ils sont parfaitement limpides et ne peuvent guère être distingués, sans une étude détaillée des propriétés optiques, des cristaux également clinorhombiques du nonahydrate. En second lieu, il se dépose toujours lorsqu'on évapore une solution de sulfate de thorium pur au-dessus de 20° ; il est vrai qu'il est généralement accompagné d'un peu de sel à $9H^2O$; mais la quantité de celui-ci diminue cependant avec la température, et, à 30-35°, on n'a plus que des cristaux qui donnent la perte d'eau théorique de 25,30 0/0. Les chiffres que j'ai obtenus pour la solubilité sont très voisins de ceux de M. Rozeboom ; nos deux courbes ont exactement la même forme et se confondent presque, comme on le voit par le tableau suivant :

Température.	SO^4Th p. 100 d'eau.	Rozeboom.
12°	1,17	»
15°	»	1,38
25°	»	1,85
27°	1,86	»
44°	»	3,71
45°	3,59	»

Contrairement à l'opinion de M. Nilson, ces cristaux ne sont nullement hygroscopiques, et j'en ai conservé pendant des

mois dans des flacons mal bouchés qui me donnaient exactement la même quantité d'eau. Le changement de poids des cristaux de M. Nilson tenait vraisemblablement à ce que son sel retenait un peu d'acide sulfurique libre, dont on ne le débarrasse que par précipitation à l'alcool.

6° $(SO^4Th)^2,9H^2O$. — C'est l'hydrate le plus anciennement connu et qui cristallise d'autant mieux que la température est plus basse. On l'obtient le plus facilement et le plus rapidement en délayant, dans un peu d'eau, l'hydrate à $4\,^1/_2H^2O$, et l'exposant à une température aussi basse que possible, 5-10° par exemple. On a ainsi d'assez gros cristaux qui, lorsqu'ils sont choisis parmi les mieux formés et les plus limpides, donnent exactement 27,64 0/0 d'eau; les individus plus ou moins laiteux, à faces très cannelées, constituent toujours des enchevêtrements des hydrates à 8 et à $9H^2O$ et donnent à la calcination des quantités d'eau variant entre 25,35 et 27,64. Au-dessus de 20°, cet hydrate ne cristallise que difficilement et mélangé d'une grande quantité d'octohydrate. Voici les chiffres que j'ai trouvés pour la solubilité; ils sont, comme on voit, très voisins de ceux de M. Rozeboom :

Température.	SO^4Th p. 100 d'eau.	Rozeboom.
10°.................	»	1,00
11°.................	0,95	»
20°.................	»	1,25
27°.................	1,67	»
30°.................	»	1,85
32°.................	2,08	»
40°.................	»	2,83
44°.................	3,02	»

Les courbes de solubilité des deux hydrates à 8 et à 9Aq se confondent donc presque et sont, en tout cas, parallèles. Contrairement à l'affirmation de M. Rozeboom, les deux

hydrates se déposent toujours simultanément en proportions variables, lorsqu'on évapore au-dessous de 35° une solution faite soit avec le sulfate anhydre, soit avec l'hydrate à $4\,^1/_2H^2O$. Cela résulte des chiffres de M. Rozeboom lui-même, qui a obtenu, pour la perte d'eau, des nombres intermédiaires entre 25,35 et 27,62, indiquant la présence d'une certaine quantité (jusqu'à 20 0/0) du second hydrate. On doit donc pouvoir obtenir ici, comme pour le sulfate céreux, des solutions saturées de concentrations différentes à la même température et en contact avec le même hydrate. C'est, en effet, ce qu'il est facile de constater.

J'ai dissous à refus du sulfate de thorium, préalablement déshydraté, dans de l'eau à 25°. La solution a été filtrée et mise en contact avec un excès de l'hydrate à $8H^2O$, qui était parfaitement pur, car il avait donné à la calcination 25,35 0/0 d'eau. La solution a été abandonnée à elle-même dans un vase fermé à une température constante de 25-26°, et l'on a déterminé, tous les trois ou quatre jours, sa concentration. Elle a donné :

	SO^4Th p. 100 d'eau.
Après 24 heures	3,13
— 5 jours	3,06
— 12 —	3,22
— 60 —	3,06
— 75 —	3,18

La teneur en sel n'a donc pas varié et peut être considérée en équilibre, et pourtant elle ne devrait contenir que 1,85 0/0, si la théorie des phases était applicable ici. Les courbes de solubilité ne se croisant pas, aucun système invariant n'est possible ; mais ces sortes de déterminations ne comportent pas une très grande précision, et il pouvait se faire qu'un point de croisement existât et qu'il se trouvât,

par hasard, à la température choisie. J'ai donc refroidi la solution à 12° et l'ai maintenue à cette température pendant un mois. Elle m'a donné :

	SO^4Th p. 100 d'eau.
Au bout de 24 heures...........	1,88
— 15 jours............	1,70
— 30 —	1,82

Si la solution n'avait contenu que l'hydrate à $8H^2O$, elle eût dû contenir 1,17. Il est donc manifeste qu'elle contient les deux hydrates à la fois, et que, par conséquent, des mélanges différents de particules dissoutes peuvent être en équilibre à une température donnée avec un même corps cristallisé. Nous avons là une preuve de plus de la grande différence qui peut exister entre la stabilité de la particule cristalline et du réseau et de la nécessité d'étudier de plus près la constitution du liquide.

Sulfate de cadmium et de potassium. — On connaît trois hydrates différents de ce sel(1), à 4, à 2 et $1\,^1/_2H^2O$. Je ne parlerai ici que des deux derniers, qu'il est facile d'obtenir simultanément dans un intervalle de température relativement considérable. Le premier se dépose à partir de 16° et peut être obtenu jusque vers 38°. Le second n'apparaît qu'à 24° et est stable à toutes les températures supérieures. Il suit de là que, dans l'intervalle de 24-38°, on peut avoir les deux hydrates à la fois. J'ai déterminé la solubilité des deux sels, et j'ai eu :

(1) *Bull. Soc. min.*, 1891, t. XIV, p. 233.

	Hydrate à $2H^2O$. $(SO^4)^2CdK^2$.
16°	42,89
31°	46,82
40°	47,40

	Hydrate à $1\,^1/_2\,H^2O$ $(SO^4)^2CdK^2$.
26°	42,50
31°	42,80
40°	43,45
64°	44,90

La solubilité est donc peu différente pour les deux hydrates et augmente peu avec la température.

Comme dans le cas des sulfates de cérium et de thorium, on peut avoir ici des solutions de concentration différentes, suivant les conditions de l'état initial. Lorsqu'on dissout le sel ***déshydraté*** en excès dans de l'eau à 26° et qu'on abandonne la solution à cette température jusqu'à concentration constante, on constate que l'excès du sel s'est transformé en hydrate à $1\,^1/_2H^2O$ (trouvé 6,70 0/0, théorie 6,60) et que le liquide contient 53,90 0/0 de $(SO^4)^2CdK^2$, par conséquent une quantité de beaucoup supérieure à celle qu'exige la solubilité du sel à $1\,^1/_2H^2O$. Si l'on élève la température, on a, à 43°, 45,51 ; à 56°, 44,30 : c'est-à-dire une courbe descendante. Comme dans le cas des sulfates de cérium et de thorium, le corps anhydre, en se dissolvant à cette température, forme deux hydrates dont les particules coexistent dans la solution, même lorsqu'elles sont en contact et avec les cristaux de l'un d'entre eux.

Cet équilibre entre phases solide et liquide n'est pas le seul qu'on puisse obtenir. Si, à une solution saturée et maintenue à 26° du sel à $1\,^1/_2H^2O$, et contenant 42,50 de sel anhydre, on ajoute un excès de cristaux à $2H^2O$, on les voit se dissoudre lentement et céder la place à des petits cristaux du sesquihydrate. Au bout de quelques heures, la concentration devient constante, et ne varie plus les jours suivants. A ce moment, elle est de 49,48 0/0, par conséquent inférieure à la concentration obtenue à la même tem-

pérature en partant du sel anhydre et notablement supérieure à la concentration normale. Cette observation confirme encore une fois ce que nous avons déjà vu ; les divers hydrates qu'on dissout perdent ou gagnent partiellement de l'eau, et les particules hétérogènes persistant dans la solution amènent entre solide et liquide divers équilibres également stables, dépendant de l'état initial et de la température.

Tous ces faits se conçoivent sans difficulté par les considérations que je viens d'exposer. La solution *saturée* d'un corps n'est pas un état relatif, un équilibre entre liquide et solide ; elle a une propriété intrinsèque très caractéristique, *celle de n'être plus un dissolvant pour ce corps*. Mais il ne s'ensuit nullement qu'elle ne puisse dissoudre d'autres corps ou d'autres états du même corps. Si les particules des deux états sont à peu près également stables dans un certain intervalle de température, elles pourront exister simultanément et indéfiniment dans la solution même, en présence d'un excès de cristaux.

On est ainsi amené à considérer deux sursaturations très distinctes. L'une très anciennement connue, qui est instable et cesse par l'introduction d'un germe ; elle est produite par des formes ou des hydrates qui se transforment rapidement et complètement à une certaine température et ont des courbes de solubilité très différentes avec un point de croisement très net. L'autre, à laquelle on n'a pas fait attention jusqu'ici, qui est très stable et que l'introduction des germes ne détruit pas ; elle s'observe dans les formes ou les hydrates qui ne se transforment pas dans un certain intervalle de température et possèdent des courbes de solubilité voisines et à peu près parallèles. La désursaturation ne se produit ici que par une élévation convenable de température qui détruit les particules de l'un des états des corps en solu-

tion. Cette sursaturation explique très aisément l'anomalie apparente que présentent les corps dont la solubilité décroît avec la température. De semblables corps ont, eux aussi, toujours deux hydrates différents (ou deux formes différentes), celle qui est la plus stable, à température élevée, *étant la moins soluble.* On conçoit, en effet, que la sursaturation due à la présence des deux hydrates doit diminuer de plus en plus, à mesure que monte la température, puisque le plus soluble, devenant de plus en plus instable, disparaît progressivement.

Je n'ai voulu aborder aujourd'hui que quelques-uns des côtés les plus généraux du problème si complexe des solutions, pour montrer que la théorie moderne, comme toutes les théories d'ordre purement mécanique, ne peut le résoudre qu'à la condition d'écarter systématiquement tous les phénomènes qui lui paraissent accessoires, et qui sont, en réalité, fondamentaux. Je reviendrai sur ce problème de physique moléculaire si intéressant et si peu connu cependant, malgré le grand nombre de recherches récentes, qui se préoccupent surtout des confirmations quantitatives dans un domaine où les études qualitatives sont à peine ébauchées.

Compte rendu des publications étrangères.

G.-Chr. Hoffmann. — Sur de nouveaux gisements minéraux canadiens (*Am. J. of. S.*, 4ᵉ série, vol. XI, p. 149).

Lépidolite. — Ce minéral se trouve, dans un filon de granite, à Wakefield, Ottawa Cᵒ, Québec. Sa densité est 2,858 à 150, et sa composition est la suivante :

SiO^2, 47,89 ; Al^2O^3, 21,16 ; Fe^2O^3, 2,52 ; MnO, 4,19 ; K^2O, 10,73 ; Li, 5,44 ; Na^2O, 1,34 ; MgO, 0,36 ; H^2O, 1,90, F, 7,41 (moins O pour F, 3,12). — Total, 99,82.

Newbergite et struvite. — Ces deux minéraux sont intimement mélangés et se trouvent dans l'ivoire des défenses d'un éléphant trouvé à Quartz Creek, Yukon district.

Schorlomite. —Elle se trouve, comme élément accessoire, dans les syénites néphéliniques de Ice River, dans les montagnes Rocheuses. Densité, 3,802 à 15°. La composition est la suivante :

SiO^2, 25,77 ; TiO^2, 19,95 ; Al^2O^3, 3,21 ; Fe^2O^3, 9,69 ; FeO, 8,01 ; MnO, 0,76 ; CaO, 31,76 ; MgO, 1,22. — Total, 100,37.

Pour que la formule soit rationnelle, il faut admettre que tout le fer se trouve à l'état de Fe^2O^3, ce qui donne 18,59, et qu'une partie du titane soit à l'état de sesquioxyde (8,23).

La *danalite* a été trouvée dans un filon coupant une syénite dans l'île Walrus. Elle est associée à du feldspath. Le *triphane* existe dans le même filon.

L'*uranophane* se trouve dans un filon de pegmatite, à Villeneuve, Ottawa Cᵒ. Elle provient de la décomposition

de la gummite, et elle est associée à ce dernier minéral, à l'uraninite, à la tourmaline, à l'apatite, à la spessartine, à la monazite et à la fluorine.

J.-M. Van Bemmelen. — Les accumulations ferrugineuses dans et sous les tourbières ; gisement, composition et formation (*Arch. néerl. des Scienc. ex. et nat.*, série II, t. IV, p. 18 ; 1900).

L'auteur étudie, avec la collaboration de MM. C. Hoistema et E.-A. Klobbie, les accumulations ferrugineuses dans les tourbières de trois endroits différents du diluvium des Pays-Bas, et il compare ses résultats à ceux qui ont été obtenus par Gaertner en étudiant les tourbières basses du Mecklembourg, et par G. Reinders, qui a étudié le mode de formation du fer de marais sous une couche de tourbe, à Ederveen.

Les couches tourbeuses contiennent du carbonate de fer amorphe, de la sidérose, de l'oxyde de fer et de la vivianite ; cependant, dans certains points du diluvium des Pays-Bas, la limonite existe seule. Le carbonate de fer amorphe est très altérable et se transforme rapidement au contact de l'air en oxyde ferrique colloïdal. La vivianite est mélangée à une substance blanche ne bleuissant pas à l'air et qui est un phosphate ferrique amorphe.

Les réactions chimiques, qui se produisent suivent la marche suivante : l'oxyde de fer, qui est entraîné dans les tourbières, provient de la limonite qui se trouve dans les argiles. Elle est réduite, sous l'influence de la formation de l'humus, à l'état de bicarbonate ferreux et de ce qu'on appelle humate ferreux soluble. L'oxydation du bicarbonate ferreux se fait au contact de l'air, ou sans l'intermédiaire direct de ce dernier, mais alors sous l'influence de deux

ferrobactéries filamenteuses : le *Leptothrix ochracea* (Kützing) et le *Crenothryx Kühniana* (Rabenhort). Ces organismes enlèvent la totalité du fer aux solutions de $FeCO^3$, et le sécrètent de nouveau, sous la forme de Fe^2O^3, dans leurs gaines gélatineuses. Le dépôt du carbonate de fer n'est pas expliqué d'une façon satisfaisante, et on ignore complètement pourquoi ce corps se dépose en tel endroit à l'état colloïde et en tel autre à l'état cristallin. La formation de la vivianite a lieu aux dépens du spath ferreux.

Le Secrétaire, gérant,
PAUL GAUBERT.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1901. — BULLETIN N° 2.

Compte rendu de la séance du 14 février 1901.

PRÉSIDENCE DE M. WYROUBOFF.

M. LE PRÉSIDENT proclame membres de la Société :

M^lle DERVIZ, au Laboratoire des cours supérieurs pour les femmes à Saint-Pétersbourg, présentée par MM. GLINKA et WOULF.

M. BARTH, directeur des *Beiblätter der Ann. der Physik*, Rossplatz Leipsig, présenté par MM. WYROUBOFF et GAUBERT.

M. LE PRÉSIDENT annonce une présentation.

M. l'Intendant militaire PAVOT met sous les yeux de la Société des échantillons du Klondike

M. WYROUBOFF fait les communications suivantes :

Sur un nouveau corps doué du double pouvoir rotatoire.

Par M. G. Wyrouboff.

M. Jungfleisch, qui s'occupe depuis longtemps des isomères et des dérivés de la cinchonine, m'a demandé récemment de lui déterminer quelques-uns des composés qu'il avait obtenus. Parmi ces composés, généralement très bien cristallisés, il s'en est trouvé un, le sulfate d'hydrocinchonine $(C^{20}H^{26}Az^{2}O)^{2}SO^{4}H^{2},11H^{2}O$, qui est hexagonal et doué d'un pouvoir rotatoire assez énergique.

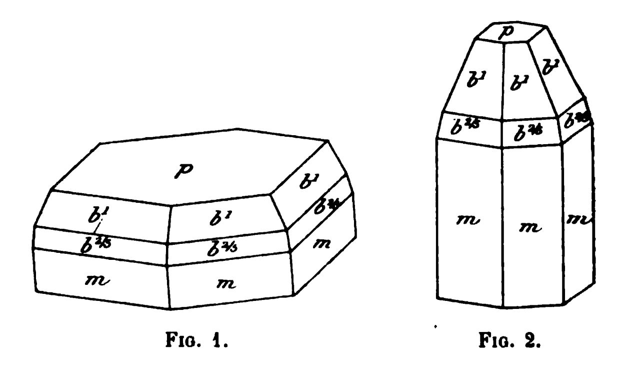


Fig. 1. Fig. 2.

Les cristaux sont tantôt aplatis suivant la base (*fig.* 1) et atteignent 5 millimètres de diamètre et 3 millimètres d'épaisseur, tantôt, au contraire, allongés suivant l'axe vertical, forment de minces aiguilles (*fig.* 2). Ils sont nettement hémimorphes ; les pyramides n'existent jamais qu'à l'une des extrémités.

On observe les faces *p* (0001) *m* $(10\bar{1}0)$, toujours striées parallèlement à l'arête *pm*, b^1 $(10\bar{1}1)$ et $b^{2}/^{5}$ $(50\bar{5}2)$.

Clivage parfait suivant p (0001);

1 : 2,1799

Angles	Calculés	esurés
b^1p (10$\bar{1}$1 0001)	—	* 110° 40′
$b^{2/5}p$ (50$\bar{5}$2 0001)	99° 2′	99° 10′
b^1b^1 (1011 1101)	124° 38′	124° 40
$b^{2/5}b^{2/5}$ (5052 5502)	120° 49′	—

Densité : 1.244

Ces cristaux présentent une singulière analogie avec les cristaux de l'émétique de cinchonine à $5H^2O$, décrits par M. Traube (1). A l'hémimorphisme près, cet émétique a la forme de la figure 1, mais ne possède que la pyramide que je note $b^{2/5}$. M. Traube a mesuré $bp = 100°30'$, et $bb = 121°7'$.Ce qui donne 1 : 4.6726. Le pouvoir rotatoire de son sel est $\alpha_j = +9°8$.

Uniaxe négatif avec phénomènes optiques parfaitement réguliers, de telle sorte que le pouvoir rotatoire peut y être mesuré très exactement. Deux cristaux m'ont donné :

		α_j
0mm,918	+ 10° 5	+ 12° 8
2 ,747	+ 35° 25	+ 12° 8

Tous les cristaux sont dextrogyres.

L'étude des corps à double pouvoir rotatoire présente un grand intérêt, car elle nous permettra de résoudre une question capitale de physique moléculaire, jusqu'ici très controversée. Les deux pouvoirs rotatoires sont-ils des phénomènes analogues et tiennent-ils à la même cause? Séduits par l'ingénieuse métaphysique de la « stéréochimie »,

(1) *Jahrb. f. Min. Beil.*, *B.* XI, p. 624; 1897.

l'immense majorité des savants n'hésite pas à répondre négativement. On soutient, sans aucune preuve du reste, que la rotation produite par les cristaux n'a rien de commun avec la rotation observée dans la solution, que la première est un résultat de la structure cristalline, la seconde une propriété de la molécule chimique. Si difficile et si ingrat qu'il soit de s'opposer à un de ses courants qui, à certains moments, entraînent pendant plus ou moins longtemps les esprits, j'ai essayé de soutenir la thèse contraire, que je crois la vraie. J'ai fait observer que les lois qui régissaient les deux pouvoirs rotatoires étaient exactement les mêmes, qu'il était dès lors infiniment probable que les deux phénomènes avaient une commune origine. J'ai montré de plus (1), par de nombreux exemples, que les corps qui avaient la même forme cristalline et le même ellipsoïde optique avaient, en solution, le même pouvoir rotatoire, que, dès lors, la cause de l'activité des solutions devait être cherchée dans la nature propre à la substance cristalline. J'ai présenté enfin (2) quelques considérations fort simples et quelques expériences directes démontrant que les unités matérielles qui se trouvaient dans la solution ne pouvaient pas être et n'étaient pas des molécules chimiques, qu'elles étaient constituées par des *particules cristallines* infiniment plus complexes, composées d'un nombre plus ou moins considérable de molécules chimiques, et identiques à celles qui se trouvent sur les nœuds du réseau cristallin.

En se plaçant à ce point de vue, voici comment se conçoit le phénomène du double pouvoir rotatoire. La solution optiquement active contient non des particules cristallines simples, mais des assemblages de 3 ou 4 particules, suivant que l'axe de pseudosymétrie est ternaire ou quaternaire. L

(1) *Ann. Ch. Ph.* (7), t. I, p. 5 ; 1894.
(2) *Bull. Soc. Ch.* (3), XXV, 1005 ; 1901.

ces assemblages, ayant dans le liquide toutes les positions possibles, ceux-là, seuls, dont l'axe de symétrie est parallèle au rayon polarisé, donnent les déviations que nous mesurons. Si le réseau sur lequel peuvent se disposer ces assemblages pseudosymétriques est instable, ou bien nous n'aurons pas de cristaux du tout, comme c'est le cas de beaucoup de colloïdes : gélatine, albumine, etc., ou bien nous aurons des cristaux orthorhombiques, clinorhombiques ou anorthiques correspondant aux molécules simples dont les assemblages sont composés. Si le réseau est stable, les assemblages se disposeront régulièrement suivant une même direction donnant des cristaux pseudo-senaires, ternaires, quaternaires ou terquaternaires, doués du pouvoir rotatoire. Il pourra se faire enfin, et c'est ce qu'on observe le plus fréquemment, que la stabilité du réseau ne soit que relative et dépende des conditions de la cristallisation; on aura alors tous les mélanges imaginables entre la symétrie vraie et la pseudo-symétrie, entre l'uniaxie et la biaxie, entre le rayon circulaire et le rayon elliptique.

De cette façon d'interpréter les choses, découlent trois conséquences :

1. Tout corps actif en solution, s'il cristallise dans l'un des systèmes cubique, quadratique, rhomboèdrique ou hexagonal, doit donner des cristaux doués du pouvoir rotatoire;

2. Si, dans un corps doué du double pouvoir rotatoire, nous désignons par α le pouvoir spécifique des cristaux et par $[\alpha]'$ le pouvoir du corps dissous multiplié par la densité et ramené à 1 millimètre, on doit toujours avoir $\alpha > [\alpha]'$;

3. Pour tous les corps ayant le double pouvoir rotatoire, et quelle que soit la valeur absolue de ce pouvoir, on doit avoir $\frac{\alpha}{[\alpha]'} = \text{Const.}$

Il semblerait au premier abord que rien n'est plus facile

que de vérifier expérimentalement ces trois conclusions. Il n'en est rien cependant, et il se présente ici, malheureusement, des difficultés considérables, qui non seulement n'ont pas été surmontées, mais dont la plupart n'ont même pas été aperçues. Quelques-unes d'entre elles se rapportent aux corps cristallisés, qui présentent le plus souvent des anomalies optiques, par conséquent des rayons elliptiques, masquant plus ou moins la polarisation rotatoire. Mais le plus grand nombre a trait aux solutions. Ces solutions renferment-elles bien le corps qu'on y a dissous? Il est certain que non, sauf dans des cas infiniment rares et à peine connus, où l'on peut être sûr que le corps ne se décompose ni ne se dissocie, ne possède pas plusieurs hydrates et ne présente pas plusieurs formes. La meilleure preuve qu'on puisse en donner, ce sont les variations parfois énormes que la concentration fait subir à la rotation spécifique de l'immense majorité des substances observées. Si le corps restait en solution toujours identique à lui-même, comment l'addition d'un liquide inactif pourrait-elle modifier son pouvoir rotatoire?

Depuis que les physiciens ont abandonné aux chimistes l'étude des solutions optiquement actives, cette étude, il faut bien le dire, a perdu toute valeur théorique, autre que celle qui consiste à vérifier les plus étranges hypothèses, et s'est réduite à des mesures aussi précises que possible, destinées à distinguer entre eux les innombrables corps actifs de la chimie organique. On ne se sert plus que de formules à deux et même trois termes; ce sont les seules qu'on considère comme exactes, et l'on ne s'est jamais demandé à quel bizarre phénomène pouvaient correspondre de semblables formules. Si le pouvoir rotatoire des solutions est une variable dépendant des conditions les plus diverses, concentration, nature du dissolvant, addition de substances inactives, il constitue un phénomène qu'aucune théorie ne peut expliquer

quer, et la « stéréochimie » moins que tout autre, malgré les « bras de lévier » et les « produits d'asymétrie » au moyen desquels on a essayé de l'étayer, lorsque la période des difficultés est venue compromettre un peu les premiers succès. En réalité, tout corps dont le pouvoir rotatoire varie avec la concentration est un corps qui se transforme d'une façon ou d'une autre au sein du liquide qui le dissout, et, avant d'aller plus loin et de tirer une conclusion théorique, il s'agit de déterminer, dans chaque cas particulier, la nature de cette transformation. J'ai montré (1) par un grand nombre d'exemples que cela pouvait se faire le plus souvent sans aucune ambiguité.

On ne peut comparer que des choses comparables, et quelle comparaison peut-on établir entre un phénomène essentiellement variable, lorsqu'il s'agit de solutions, et qui a une remarquable fixité lorsqu'il s'agit de cristaux régulièrement développés? C'est pour avoir méconnu cette vérité évidente que M. Traube (2), qui a publié une série de recherches, d'ailleurs fort intéressantes, sur les corps doués du double pouvoir rotatoire, est arrivé à des résultats qui n'ont avec la réalité qu'un rapport purement hypothétique. Le malate acide de zinc donne en solution, pour des concentrations de 6 à 19 0/0, des pouvoirs spécifiques qui varient du simple au double. Il est donc manifeste que des modifications profondes se produisent dans le corps à mesure que la quantité d'eau diminue. Est-ce un autre hydrate qui se forme ou est-ce une dissociation en sel neutre et acide libre? Il importe grandement de le déterminer pour savoir si c'est le chiffre inférieur ou le chiffre supérieur que nous devons considérer comme le plus rapproché de la vérité. M. Traube se contente de calculer d'après la courbe des variations

(1) *Loc. cit.*
(2) *Loc. cit.*

la rotation pour une concentration de 100. Il la compare à la rotation des cristaux qui, de son aveu même, présentent toujours des anomalies optiques, et en conclut que le rapport $\frac{\alpha}{[\alpha']}$ est égal à 6. Il est évident que ce n'est pas en procédant de la sorte que nous aurons chance de résoudre la question.

On peut objecter, il est vrai, que si la plupart des comparaisons quantitatives entre les deux pouvoirs rotatoires d'un même corps n'ont jusqu'ici aucune valeur scientifique, on a constaté qualitativement qu'il existait des corps actifs en solution et cristallisant en cristaux uniaxes dénués de pouvoir rotatoire, ce qui est tout à fait incompatible avec les idées que je viens d'exposer. Mais il est aisé de montrer qu'aucun des faits cités ne peut être considéré comme définitivement acquis, car ils se rapportent tous à des substances remarquables par leurs anomalies optiques (émétiques de Sr, Ba, Pb) et dont quelques-unes sont nettement des macles de formes orthorhombiques à deux axes optiques (combinaisons du glucose avec ClNa, BrNa, INa).

Il importe de remarquer, du reste, que les trois conditions dont je parlais plus haut ne sont nécessaires que si l'on admet, comme on l'a fait jusqu'ici, que le sens de la rotation doit rester le même dans la solution et dans les cristaux. Or cela n'est certainement pas exact, et on sait que le dextrotartrate de rubidium donne des cristaux toujours lévogyres. Il peut donc très bien se faire qu'un corps d'une rotation déterminée puisse donner à la fois des empilements gauches et des empilements droits et, s'ils se mélangent régulièrement, on aura des cristaux uniaxes ne déviant nullement le plan de polarisation. Il n'est pas impossible aussi qu'au sein même de la solution d'un corps actif il se forme, contrairement aux vagues théories de stéréochimie, des paquets

de rotation contraire dont les proportions relatives dépendront des conditions de la dissolution. Ainsi s'expliqueraient quelques-uns de ces faits si étranges où la rotation change de signe, suivant qu'on emploie tel ou tel dissolvant. Ce ne sont là sans doute que des suppositions, et je ne les cite que pour montrer combien le problème est complexe, combien peu on a fait jusqu'ici pour le résoudre, malgré le grand nombre de mesures dont l'exactitude est purement illusoire.

Je ne connais actuellement qu'un seul corps réalisant les conditions qui permettent de comparer avec quelque exactitude les deux pouvoirs rotatoires. C'est le tartrate de rubidium. Il donne des cristaux qui ne présentent qu'exceptionnellement des phénomènes anormaux ; il cristallise à toutes les températures à l'état anhydre, et l'on peut admettre avec grande vraisemblance que c'est à cet état qu'il se trouve en solution. Aussi son pouvoir rotatoire, pour des concentrations qui ont varié de 5 à 60 0/0, ne m'a-t-il donné que des variations moindres de 1°; j'avais donc admis qu'il était indépendant de la concentration. Ce résultat a été, il est vrai, contesté par M. Rimbach (1) et plus tard par MM. Pribram et Glücksmann (2). Je ferai observer d'abord que ces auteurs, qui ont opéré avec un grand luxe de précautions de toutes sortes, ne sont pas d'accord entre eux. Pour une concentration de 10 0/0, par exemple, l'un trouve + 20° 1 et les autres + 20° 8, soit un écart de 0° 7; or la plus grande différence trouvée par M. Rimbach entre les concentrations de 10 et de 64 0/0 est de 3°, 3. Je remarquerai ensuite que, pour éviter toute dissociation, toute possibilité d'éthérification de l'acide tartrique, j'ai toujours eu soin d'ajouter à la solution un très léger excès de carbonate de rubidium. Je maintiens que, dans ces conditions, la concentration n'a plus

(1) *Zeits. f. phys. Ch.*, t. XVI, p. 675; 1895.
(2) *Monatschr. f. Ch.*, t. XVIII, p. 521; 1897.

qu'une influence parfaitement négligeable, du moins pour une première approximation. On trouve ainsi $\frac{\alpha}{[\alpha]} = 19.5$.

Il existe un autre corps, le sulfate de strychnine à $6H^2O$, dans lequel nous pouvons sinon déterminer quantitativement ce rapport, du moins avoir une idée sur l'ordre de sa grandeur. Les cristaux de ce sel présentent toujours, comme on sait, des anomalies optiques, et ce n'est que rarement qu'on observe des lames à peu près régulières. La rotation spécifique a été trouvée, par M. Descloizeaux, de 9°,5 pour le rouge; de 13°,25, pour le jaune, par M. Traube. Je viens d'examiner un lot de très beaux cristaux que j'avais obtenu dans le temps et j'en ai trouvé deux dans lesquels la dislocation de la croix était à peine appréciable; ils m'ont donné :

		α_j
1mm,520	16° 4	10° 8
2 ,286	25° 1	11°
	Moyenne.....	10.9

Ce chiffre peut être considéré comme très approximativement exact; mais il n'en est malheureusement pas de même pour les chiffres que donne la solution. Le sel présente deux hydrates dont l'un clinorhombique à $5H^2O$. La rotation spécifique de cet hydrate peut être déterminée d'une façon assez précise; il suffit de prendre une solution alcoolique, — une semblable solution ne dépose en effet, à toutes les températures, que l'hydrate inférieur. Elle donne $[\alpha_1]_j = -17°,2$. La solution aqueuse contient, au contraire, les deux hydrates en proportions variables suivant la température et la concentration, car elle se sursature très facilement. En se plaçant dans les conditions les plus favorables, c'est-à-dire en opérant sur de faibles concentrations (1 0/0) et à basse tempé-

rature (15°), on a $[\alpha]_j = 27°,4$, chiffre certainement beaucoup trop faible, car la liqueur doit contenir encore de notables quantités de l'hydrate inférieur, comme il arrive toujours lorsqu'il s'agit de deux hydrates peu différents par leur composition(1). Si l'on prend ce chiffre tel quel et la densité 1.498 déterminée par Mallard (2), on a $[\alpha]'_j = -0°,41$ et $\frac{\alpha}{[\alpha]'} = 26,6$, valeur qui n'est pas trop éloignée de 19,5, trouvée pour le tartrate de rubidium, étant donnée l'incertitude que je viens de signaler et qui tend à diminuer $[\alpha]$ et par conséquent $[\alpha]'$.

Je ferai observer incidemment que si 19.5 ou un chiffre voisin, se trouvait réellement être une constante, nous aurions là un nouveau moyen pour étudier la constitution, si peu connue encore, des solutions. Dans le cas du sulfate de strychnine à $6H^2O$, la rotation vraie serait de $-37°3$, et par conséquent $[\alpha]' = 0°55$; la rotation observée $\frac{17.2 + 37.3}{2} = 27°4$ correspondrait ainsi à un mélange à parties égales des deux hydrates.

Pour le sulfate d'hydrocinchonine, la comparaison des deux pouvoirs rotatoires est encore beaucoup plus incertaine, car il présente au moins deux hydrates à 2 et $11H^2O$, et qu'il est tout à fait impossible de savoir quelle rotation spécifique appartient à chacun d'eux, et dans quelle proportion relative ils se trouvent dans une solution d'une concentration donnée. Dissous à 1 0/0 dans l'eau, il donne $[\alpha]_j = +124°,4$ et, par conséquent $[\alpha]'_j = 1°,54$; la densité étant de 1.244 d'où $\frac{\alpha}{[\alpha]'} = 8,3$. Mais ce chiffre n'a aucune espèce de valeur, et il nous faut, pour continuer utilement les comparaisons,

(1) *Bull. Soc. Ch.* (3), XXV, p. 105; 1901.
(2) *Traité de Cristallographie*, t. II, p. 329.

attendre la découverte de quelque nouveau corps doué du double pouvoir rotatoire, présentant en solution la même garantie d'identité que le tartrate de rubidium.

Sur l'oxalate de chrome.

Par M. G. Wyrouboff.

Après avoir étudié la forme cristalline et la composition des oxalates doubles $\overset{III}{M}{}^2O^36C^2O^3\overset{I}{M}{}^2O,nH^2O$ (1), j'ai cherché à me rendre compte de la constitution de ces corps complexes, si singuliers à bien des égards.

La première chose à faire était de connaître les oxalates des sesquioxydes qui en forment la partie principale et qui, eux aussi, doivent être considérés comme des corps complexes, puisque leurs éléments ont perdu en grande partie leurs réactions ordinaires. L'oxalate de chrome a particulièrement attiré mon attention, d'abord parce que l'oxyde de chrome, grâce aux beaux travaux de M. Recoura, est de beaucoup le mieux connu ; ensuite parce que ses changements de couleur permettent de suivre plus facilement les transformations qui peuvent se produire.

On sait que l'oxalate de chrome — comme tous les oxalates des sesquioxydes de la même famille du reste — préparé soit par réduction de l'acide chromique en présence d'acide oxalique, soit par dissolution à froid ou à chaud de l'oxyde de chrome dans l'acide oxalique, est un corps soluble en toutes proportions dans l'eau et absolument incristallisable. Sa solution, évaporée à la température ordinaire, donne un

(1) *Bull. Soc. Minér.*, t. XXIII, p. 65 ; 1900.

vernis violet, évaporé au bain-marie, un vernis vert qui devient violet au contact de l'eau. Cet oxalate n'est certainement pas l'oxalate normal correspondant au sulfate ou au chlorure, par exemple, d'abord parce qu'il est incristallisable, ensuite parce que les sels de calcium en précipitent un composé renfermant du chrome et que les alcalis n'éliminent pas l'oxyde. J'ai essayé, en variant les conditions de la préparation, d'obtenir un oxalate normal, cristallisé, comme tous les sels normaux de chrome, et j'y suis parvenu sans aucune difficulté.

Lorsqu'on mélange à froid une solution récente à 10-15 0/0, faite à une température aussi basse que possible de 1 molécule d'un sel de chrome, sulfate, chlorure, nitrate ou même alun (1) et une solution concentrée de 3 molécules d'un oxalate alcalin, de préférence celui de potasse, qui est le plus soluble, on voit se déposer, au bout de quelques heures, des cristaux violets très nets, qui peuvent atteindre parfois 1 centimètre dans leur plus grande dimension. Au bout de douze heures la cristallisation est terminée, et l'on obtient ainsi dans les cas les plus favorables, la moitié du chrome existant dans la liqueur. Ces cristaux constituent l'oxalate normal et ont pour composition $Cr^2O^3,3C^2O^3,25H^2O$.

Si la solution du sel de chrome est plus concentrée, on obtient un magma d'aiguilles enchevêtrées, de couleur grise, appartenant à un autre hydrate à $13H^2O$ extrêmement instable au contact de l'eau. On voit en effet les aiguilles disparaître rapidement et se transformer en cristaux de l'hydrate supérieur. A l'état sec, cet hydrate est, au contraire, très stable, car l'hydrate à $25H^2O$, abandonné à l'air pendant quelque temps, ou chauffé pendant quelques minutes avec de l'alcool, devient gris et perd $12H^2O$. Parmi les propriétés de ces deux hydrates, il en est une tout à fait inattendue : *ils*

(1) La solution ne doit pas contenir d'acide libre, l'oxalate de chrome étant fort soluble dans tous les acides.

sont complètement insolubles dans l'eau, comme le sont les oxalates de presque tous les métaux bivalents. Il est donc évident que l'oxalate normal de chrome est, au point de vue de sa constitution, un tout autre corps que l'oxalate anormal qu'on connaissait jusqu'ici. L'analyse m'a donné :

	Calculés	Trouvé
Cr^2O^3	18.66	18.56
$3C^2O^3$	26.38	26.46
à 110° $21H^2O$	46.16	45.89
à 180° $3H^2O$	6.60	6.70
H^2O	2.20	2.39 p. d.
	100.00	100.00

	Calculés	Trouvé
Cr^2O^3	26.35	25.67
$3C^2O^3$	35.83	—
à 110° $9H^2O$	26.87	26.87
à 180° $3H^2O$	8.96	9.00
H^2O	2.99	
	100.00	

La dernière molécule d'eau ne peut être chassée sans décomposer partiellement l'acide oxalique. Le corps, déshydraté à 110° ou à 180°, renfermant, par conséquent, 4 ou 1 molécule d'eau, est devenu soluble dans l'eau et dans l'alcool et incristallisable ; il s'est donc transformé en oxalate ordinaire. Il suit de là : 1° que l'oxalate *anormal* renferme au moins 1 molécule d'eau de constitution, ce qu'on peut exprimer par la formule $Cr^2O^2(OH)^2 3C^2O^3$. A 110°, il aurait 4 molécules d'eau de constitution et serait $Cr^2O^2(OH)$ $C^3O^4H^2$; 2° que l'oxalate *normal* renferme plus d'eau de constitution, mais que cette eau ne serait retenue que par une très faible affinité. Les formules des deux hydrates seraient ainsi :

$$Cr^2(OH)^6\,3C^2O^4H^2{,}19H^2O \quad \text{et} \quad Cr^2(OH)^6\,3C^2C^4H^2{,}7H_2O.$$

En effet l'oxalate normal, malgré sa facile formation et sa tendance à cristalliser, est un corps excessivement instable. c'est ce qui explique qu'il ait échappé jusqu'ici à l'attention des observateurs. On a vu qu'il suffisait de pousser la déshydratation jusqu'à un certain point pour le transformer.

Cette transformation se produit aussi très rapidement lorsqu'on fait bouillir l'eau qui le tient en suspension. Il se dissout petit à petit, et la solution, évaporée, donne l'oxalate incristallisable bien connu. Le même phénomène s'observe à basse température au bout d'un temps plus ou moins long, lorsqu'on laisse les cristaux en contact avec l'eau et plus facilement encore lorsqu'on remplace l'eau par une solution d'un oxalate alcalin. Il y a plus. Les cristaux parfaitement secs, renfermés dans des flacons bien bouchés, finissent par se liquéfier en un sirop épais, qui n'est qu'une solution concentrée de l'oxalate *anormal*.

Il importe de remarquer enfin que la préparation de l'oxalate cristallisé ne réussit que lorsqu'on a évité soigneusement toute élévation de température et qu'on a pris une solution fraîchement faite du sel chromique. Une solution d'alun de chrome, par exemple, maintenue pendant quelques heures à 35° ou pendant quelques jours à basse température, ne donne plus qu'une très petite quantité de cristaux ou n'en donne même pas du tout. Cette grande instabilité dans les conditions les plus diverses explique les faibles rendements qu'on obtient. Théoriquement on devrait avoir la totalité du chrome à l'état d'oxalate insoluble, en vertu de l'équation dans laquelle A représente un acide :

$$Cr^2O^3 3A + 3C^2O^3K^2O = Cr^2O^3 3C^2O^3 + 3AK^2O.$$

Mais, au contact de l'eau et de l'oxalate alcalin, une partie du composé se transforme en oxalate anormal soluble, sans parler de l'oxyde de chrome qui, lui-même, a pu se transformer partiellement avant l'addition de l'oxalate alcalin.

Une semblable transformation est grandement vraisemblable, car elle est intégrale et instantanée pour le fer et l'alumine, dont les sels, additionnés d'oxalate alcalin, donnent

immédiatement les composés $M^2O^36C^2O^3,M^2O$, qu'on obtient, comme on sait, avec les oxalates $M^2O^33C^2O^3$ solubles et incristallisables. Pour le fer, cette transformation se constate du reste facilement; l'alun, qui est légèrement violacé, et le sulfate, qui est blanc, donnent des solutions jaunes; il est donc clair que la molécule à l'état solide est différente de la molécule à l'état dissous. Entre le chrome, le fer et l'alumine il y aurait cette différence que les sels du premier ont en solution un certain degré de stabilité et que les sels des deux derniers ne peuvent exister à l'état dissous.

J'ai voulu me rendre compte des différences qui pouvaient exister entre la composition de l'oxyde retiré de l'oxalate anormal et celui qu'on précipite des sels violets cristallisés. Sans doute ces oxydes ne sont pas identiques à ceux qui existaient dans la combinaison, puisqu'ils sont verts et que les sels sont violets, mais il était probable que leur transformation, au moment de leur mise en liberté, serait différente. Voici ce que j'ai observé à cet égard:

Lorsqu'on traite 1 molécule d'un sel cristallisé de chrome par 6 molécules de KHO ou NaHO, on obtient *à froid* un oxyde *vert clair* qui, séché sur l'acide sulfurique jusqu'à poids constant, a pour composition $Cr^2O^3,8H^2O$ ou $Cr^2(OH)^6$, $5H^2O$. Chauffé à 110°, il perd $2H^2O$ (18.80 0/0 th. 18.20 0/0) *sans changer de couleur*. Ce n'est qu'à une température beaucoup plus élevée qu'il perd de nouveau de l'eau et prend une couleur de plus en plus foncée, dont le maximum paraît correspondre à la composition $Cr^2O^32H^2O = Cr^2O^2(OH)^2H^2O$ (perte 37.50 0/0, th. 36,38 0/0). La dernière molécule d'eau ne se dégage complètement qu'au rouge. Lorsqu'on traite à froid 1 molécule d'oxalate *anormal* par 6 molécules d'alcali, on n'obtient aucun précipité (on n'en obtient même pas avec un grand excès d'alcali). Mais la précipitation est intégrale lorsqu'on fait bouillir la solution pendant quelques

minutes. L'oxyde qui se dépose ainsi est *vert foncé*, beaucoup plus volumineux et plus gélatineux que le précédent. Séché sur l'acide sulfurique, il a pour composition Cr^2O^3, $6H^2O = Cr^2(OH)^6,3H^2O$. Chauffé à 110°, il perd $2H^2O$ (13.30 0/0, th. 13.80 0/0); comme dans le cas précédent, les dernières portions de l'eau ne sont chassées qu'à très haute température. On voit ainsi que les deux oxydes se distinguent à froid, comme à 110°, par $2H^2O$.

Tous ces faits, qui sont d'ordre trop exclusivement chimique pour que je les développe ici avec détail, montrent clairement que nos connaissances sur les sesquioxydes sont fort incomplètes et le seront tant que nous continuerons à considérer l'eau comme indépendante de la molécule. Mais je m'empresse de reconnaître que ces faits sont très insuffisants pour nous permettre d'interpréter avec quelque vraisemblance la constitution des oxalates complexes, dont je parlais au début de cette note. Nous pouvons cependant fixer dès à présent deux points importants. L'oxalate de chrome, qui entre comme partie constituante dans ces composés complexes, est l'oxalate *anormal*, et contient de l'eau de constitution; ce qui revient à dire que l'acide oxalique se combine non à l'oxyde de chrome, mais à un radical complexe renfermant les éléments de l'eau; l'oxalate serait

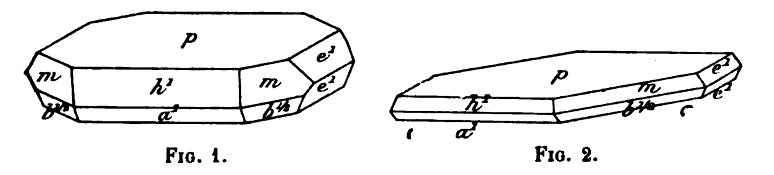


FIG. 1. FIG. 2.

ainsi $Cr^2(OH)^6 3C^2O^3$. D'autre part, la combinaison de cet oxalate anormal avec l'oxalate alcalin se fait avec élimina-

(1) *Loc. cit.*, p. 75.

tion d'eau, car j'ai montré (1) que les composés $\overset{III}{M^2}6C^2O^4,\overset{I}{M}.nH^2O$ ne renfermaient pas d'eau de constitution. L'oxalate normal de chrome à $25H^2O$ est clinorhombique; mais la forme de la figure 1 est relativement rare; le plus souvent les cristaux prennent nettement une apparence triclinique (*fig.* 2), les faces e^1 (011) font même le plus souvent défaut.

Faces observées: p(001), h^1(100), m(110), e^1(011), a^1($\bar{1}$01), $b^{1/2}$($\bar{1}$11).

1.3772 : 1 : 1.4844 ; $\gamma = 110°17'$.

Angles	Calculés	Mesurés
ph^1 (001 100)	110° 17	110° 20′
pa^1 (001 $\bar{1}$01)	121° 46′	121° 42′
mm (1$\bar{1}$0 110)	75° 28′	—
mh^1 (110 100)	127° 44′	127° 34′
mp (110 001)	—	* 102° 15′
$b^{1/2}m$ (11$\bar{1}$ 110)	147° 45	147° 40′
$b^{1/2}p$ ($\bar{1}$11 001)	110°	109° 52′
e^1p (011 001)	—	* 125° 41′
e^1h^1 (011 100)	—	* 101° 40′
$e^1b^{1/2}$ (011 $\bar{1}$11)	144° 48′	144° 44′
$b^{1/2}b^{1/2}$ ($\bar{1}\bar{1}$1 $\bar{1}$11)	81°	—

Le plan des axes optiques est perpendiculaire au plan de symétrie. La bissectrice aiguë négative fait avec c dans γ obtus un angle de 37°,30′. Pour la lumière du sodium, on a 2E = 125°. Biréfringence assez énergique. Dispersion inappréciable; pas de dispersion horizontale. Les cristaux sont légèrement dichroïques.

Sur quelques acétates triples.

Par M. G. Wyrouboff.

Rammelsberg a décrit jadis (1) un sel rhomboédrique ayant pour formule $(C^2H^3O^2)^6(UO^2)^2Cu,4H^2O$. Plus tard il reconnut (2) que le sel renfermait du sodium et avait pour composition $(C^2H^3O^2)^9(UO^2)^3Na,Cu,9H^2O$, sans qu'on puisse se rendre bien compte des causes de son erreur analytique, car il avait trouvé d'abord 6,35 0/0 de cuivre et n'en trouvait plus que 4 0/0, ce qui correspond en effet très bien avec sa seconde formule. Les cristaux étaient, du reste, identiques dans les deux cas ; ils étaient formés d'une base largement développée et de plusieurs rhomboèdres tant directs qu'inverses.

Quelques années après, M. Erb confirma la seconde formule de Rammelsberg et montra qu'on pouvait remplacer dans ce composé le cuivre par l'un quelconque des métaux de la série magnésienne. Il prépara ainsi les sels de Mg, Zn, Ni, Mn, Fe, et consacra un long mémoire à leur étude géométrique et optique (3).

Quelle est la nature chimique de ces composés évidemment complexe ? C'est là une question fort obscure que je n'ai pas à aborder ici, et qui mérite d'être examinée. On peut dire seulement que la persistance de cet atome de sodium (moins de 2 0/0), qui n'est remplaçable par aucun autre métal alcalin, que l'extrême stabilité de l'eau dont aucune fraction n'est éliminée au-dessous de 200°, démontrent clairement l'insuffisance de la formule admise. On peut remarquer aussi

(1) *Handb. d. Krystal Ch.*, II, p. 98.
(2) *Sitzb. d. Berl. Ak.*, t. XXXVIII, p. 883 ; 1884.
(3) *N. Jahrb. f. Min. Beil.*, B. VI, 121 ; 1889.

que nous avons ici la quantité d'eau juste nécessaire pour former des composés par simple addition d'acide et de base sans élimination d'eau ; car on peut écrire la formule $(C^2H^4O^2)^9 Na(OH) [UO^2(OH)^2]^3 M(OH)^2$, ce qui aurait l'avantage d'expliquer au moins l'une des propriétés observées.

M. Erb a remarqué que tous ces sels présentaient cette particularité de se comporter en lumière polarisée, malgré leur symétrie ternaire, comme des corps orthorhombiques ; les individus simples et les cristaux maclés, examinés à travers la base, s'éteignaient et s'éclairaient alternativement, lorsqu'on les faisait tourner entre les nicols croisés. Ce fait n'a, en somme, rien d'étonnant; il indique la présence d'anomalies optiques, telles que nous les observons dans les innombrables substances pseudosymétriques que nous connaissons actuellement. Mais voici qui est tout à fait extraordinaire: les cristaux, examinés en lumière convergente, ne donnent aucune image axiale ; ils ne sont ni uniaxes, ni biaxes. Cependant, lorsqu'on les chauffe, il arrive un certain moment où la lame s'éteint brusquement dans tous les azimuts et devient uniaxe négative.

Que pouvaient bien être ces singuliers phénomènes ? M. Erb les expliqua d'un mot. Il admit qu'ils étaient le résultat de « tensions internes », mot magique, fort en honneur en Allemagne, à cette époque, qui a sans doute l'avantage de tout expliquer, mais qui a le grave tort de supprimer toute recherche plus approfondie. Si nombreuses et si variées qu'on suppose ces tensions, on ne voit pas bien comment elles pourraient faire disparaître les axes optiques dans un corps biréfringent. Cette disparition, si elle était réelle, ne pouvait tenir qu'à une cause inhérente à la structure des cristaux, et M. Erb l'eût certainement trouvée, si sa croyance aux tensions ne l'avait empêché de la chercher.

Au moment où parut le mémoire, ces observations, manifestement incompatibles avec tout ce que nous connaissons des corps cristallisés, me frappèrent beaucoup, et je m'empressai de préparer et d'examiner de plus près quelques-unes des substances étudiées par M. Erb. Je n'eus aucune peine à trouver le mot de l'énigme, et à faire rentrer dans l'ordre tous ces corps d'apparences si singulières. Je tire aujourd'hui de mes cartons cette étude, oubliée depuis dix ans, parce qu'elle présente, comme on va le voir, un intérêt théorique.

Les cristaux de M. Erb ne sont ni rhomboédriques, ni même orthorhombiques ; ils sont, par leurs angles et par leurs propriétés optiques, incontestablement clinorhombiques. Pour avoir des mesures précises, il importe d'opérer sur des cristaux simples, qu'on obtient assez facilement en cristallisant à basse température ; les cristaux maclés, qui sont quelquefois des assemblages très complexes, ont toujours des faces fortement striées. C'est pour n'avoir pas fait attention à cette circonstance que M. Erb a eu des écarts de plus de 1° ; or la forme clinorhombique des cristaux ne se distingue d'une forme orthorhombique que d'un petit nombre de minutes. Dans les cristaux simples, les propriétés optiques sont tout à fait régulières ; le plan des axes et la bissectrice obtuse, tantôt positive, tantôt négative, y sont perpendiculaires au plan de symétrie, la bissectrice aiguë faisant avec l'axe vertical des angles généralement considérables. C'est pour cela qu'on n'observe à travers la base aucune image axiale.

Mais les cristaux simples sont non seulement relativement rares, ils sont encore très instables. Sitôt qu'on les chauffe — pour le sel de magnésium, la chaleur de la main suffit, — ils se maclent suivant une loi particulière sur laquelle j'ai appelé l'attention (1) et dont je vais dire quelques

(1) *Bull. Soc. Min.*, t. XIX, p. 289 ; 1896.

mots tout à l'heure. Cette maclification est d'autant plus complexe que la température est plus élevée; la *fig.* 1 donne une représentation schématique des phénomènes.

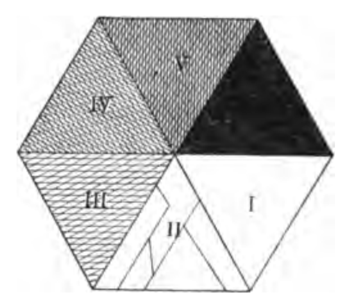


FIG. 1.

La lame d'abord simple (I) se divise en un nombre variable de plages (II), qui s'éteignent encore dans certaines positions. à mesure que la chaleur augmente, les plages deviennent plus nombreuses, plus petites, plus confuses (III, IV), on finit par ne plus les distinguer que difficilement aux faibles grossissements auxquels on est obligé d'opérer (V); à une température déterminée différente pour chacun des corps, toute la lame demeure éteinte dans toutes les positions. On pourrait croire qu'il ne s'agit là que d'un cas de dimorphisme analogue à celui qu'on observe dans la boracite, par exemple. Mais, outre que la marche du phénomène est progressive et qu'on voit le mélange des orientations devenir de plus en plus intime, l'observation en lumière convergente ne nous laisse aucun doute. Si la transformation était due au dimorphisme, la seconde forme devrait être régulièrement uniaxe: or elle ne paraît telle, en lumière parallèle, que grâce au peu d'épaisseur des lames dont on dispose et à la très faible biréfringence de tous ces sels. En réalité la croix noire sans dislocation est tout à fait exceptionnelle et ne se ren-

contre que dans le sel de magnésium,dont la transformation s'effectue à température peu élevée (50°). En général, on ne rencontre que l'uniaxe anormale, et parfois même, comme dans le composé du manganèse, une incontestable biaxie. A moins de nier l'évidence et de préférer quand même les explications vagues aux faits précis que l'observation donne, il faut bien admettre qu'il s'agit ici d'un croisement dont la régularité est essentiellement variable, comme dans tous les cas des corps pseudosymétriques. Les transformations inverses de celles que je viens de décrire se produisent par le refroidissement, à cela près qu'on ne retombe jamais sur le cristal simple dont on était parti, que la lame reste toujours plus ou moins maclée.

Je ne connais pas de plus frappante confirmation de la théorie de Mallard, et de démonstration plus claire de la genèse de certains corps uniaxes par croisement de lames biaxes.

Les groupements étant ici ternaires, le corps uniaxe produit devrait être doué du pouvoir rotatoire ; mais tous ces sels sont d'une très faible biréfringence, qui diminue encore notablement par le croisement, et il faudrait, pour le constater, des cristaux quatre ou cinq fois plus gros que ceux qu'on obtient et qui atteignent rarement 3 millimètres d'épaisseur.

Je viens de dire que le groupement était ternaire ; en réalité il est infiniment plus complexe et ne devient ternaire qu'indirectement. Pour qu'un assemblage symétrique puisse se former autour d'un axe d'ordre 3, il faut que l'angle du prisme soit très voisin de 120°, et, dans le cas qui nous occupe, il s'en éloigne beaucoup, puisqu'il est compris entre 123°48′ et 125°24′. Malgré cet écart considérable, on trouve que l'angle g^2m (130-110) reste sensiblement le même et presque rigoureusement $= 30°$, comme il résulte du tableau

suivant, dans lequel on a pris les suppléments des angles dièdres.

Sels	mm	g^2m
Cu	56° 20′	29° 36′
Ni	56° 12′	29° 33′
Mn	55° 38′	29° 54′
Cd	54° 36′	29° 31′

Il suit de là que les angles mg^1 (110010) + g^2h^1 (130100) sont presque exactement de 120°.

On a en effet :

Sels	mg^1	g^2h^1
Cu	61° 50′ +	58° 6′ = 119° 36′
Ni	61° 54′ +	58° 1′ = 119° 35′
Mn	62° 17′ +	57° 43′ = 120°
Cd	62° 42′ +	57° 9′ = 119° 51′

Dès lors le groupement s'explique sans difficulté ; la figure 2 en donne la clef.

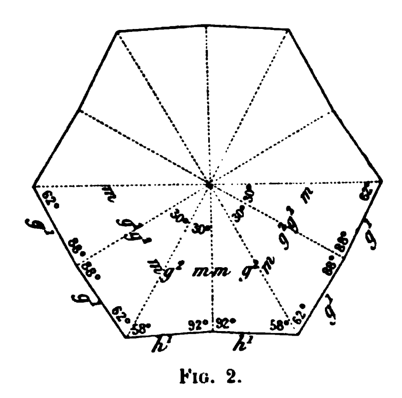


Fig. 2.

Ce groupement n'est qu'approximativement ternaire ; il le devient rigoureusement si, par l'action de la chaleur, ses élé-

ments ont pu se déplacer de 2° ; à ce moment le croisement régulier peut se faire, et le corps n'est plus le faux rhomboèdre mesuré par Rammelsberg et M. Erb, mais une forme s'éloignant infiniment peu d'un rhomboèdre vrai, optiquement uniaxe, ou à peu près uniaxe. On voit par quels moyens, parfois très indirects, mais en somme très simples, les corps pseudo-symétriques arrivent à acquérir une symétrie supérieure, et l'on admire une fois de plus la conception géniale de Mallard, qui permet de ramener au même principe les structures cristallines qui défiaient jadis toute interprétation géométrique.

Il n'est peut-être pas inutile de relever, à ce propos, une erreur que j'ai rencontrée plus d'une fois dans les travaux allemands, hostiles à la théorie de Mallard, et notamment dans un mémoire très intéressant de M. Klein sur l'apophyllite. M. Klein a trouvé que les apophyllites biaxes étaient tricliniques, que le plan des axes n'y était pas perpendiculaire à la base, et il conclut que les apophyllites uniaxes ne sauraient être un résultat de croisement à angle droit de semblables lames, considérant comme indispensable une condition qui n'intervient à aucun degré dans le phénomène. On pourrait faire un empilement uniaxe avec des lames de clivage du gypse, tout aussi bien qu'avec des lames de mica ; car, quelle que soit la position de l'ellipsoïde dans chacune des lames, il suffit qu'elle soit symétrique par rapport à l'axe de pseudosymétrie ternaire ou quaternaire *du paquet* pour que l'ellipsoïde résultant soit de révolution. C'est ainsi que, dans le cas que j'examine aujourd'hui, le croisement de lames presque perpendiculaires à l'axe moyen engendre un corps uniaxe.

La figure 2 ne donne qu'une représentation purement théorique de la structure de ces cristaux, et les macles extrêmement fréquentes qu'on rencontre, même lorsqu'on a cristal-

lisé à froid, n'ont jamais cette simplicité et cette régularité. Mais la mesure des angles et l'étude des extinctions montrent bien qu'elles se produisent par des rotations successives de 30° et que les plans qui limitent les plages sont alternativement m (110) et g^2 (130). La figure 3 montre un de ces assemblages, choisi parmi les plus simples.

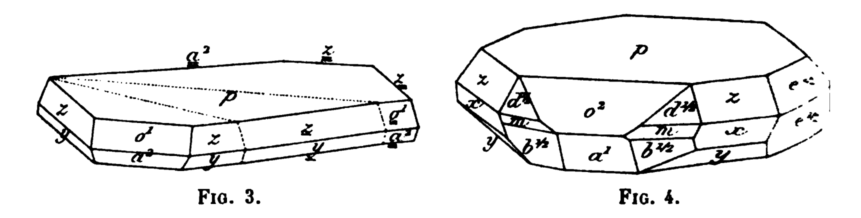


FIG. 3. FIG. 4.

Cette figure représente un cristal du sel de manganèse, sur lequel j'ai pu mesurer assez exactement, comme on le verra plus loin, les angles $z\underline{z}$, $y\underline{y}$, $z\underline{o^1}$, après avoir fixé le symbole des diverses faces par leur inclinaison sur la base.

Les cristaux simples de tous ces sels ont tous les mêmes faces et le même aspect qui les a fait prendre pour des rhomboèdres basés (*fig.* 4) ; ils sont cependant quelquefois plus ou moins allongés suivant l'axe *a*. Les faces sont, en général, très réfléchissantes, et les mesures assez exactes pour donner une concordance très satisfaisante avec le calcul.

Il n'y a pas de clivage.

1. — *Sel de cuivre*

Faces observées : p (001), g^1 (010), m (110), a^1 ($\bar{1}$01), o^2 (102), $e^{1/2}$ (021), $d^{1/2}$ (111), $b^{1/2}$ ($\bar{1}$11), x (132), y ($\bar{1}$31), z ($\bar{1}$34).

0.5354 : 1 : 0.9959 ; $\gamma = 90°5'$

Angles	Calculés	Mesurés
mm (1$\bar{1}$0 110)	123° 40′	—
a^1p ($\bar{1}$01 001)	—	* 118° 12′
o^2p (102 001)	137° 7′	137°
$e^{1/2}p$ (021 001)	116° 40′	116° 40′
$d^{1/2}p$ (111 001)	—	* 115° 25′
$b^{1/2}p$ ($\bar{1}$11 001)	—	* 115° 18′
xp (132 001)	119° 38′	119° 40′
yp ($\bar{1}$31 001)	105° 49′	105° 49′
zp ($\bar{1}$34 001)	138° 40′	138° 35′
zm ($\bar{1}$34 $\bar{1}\bar{1}$0)	92° 24′	92° 24′

macles :

(sur *m*) *x*X (132 $\underline{132}$)	173° 24′	173° 25′
y$\underline{y}$ ($\bar{1}$31 $\underline{\bar{1}31}$)	172° 52′	—
z$\underline{z}$ ($\bar{1}$34 $\underline{\bar{1}34}$)	175° 12′	175° 20′

Plan des axes optiques et bisectrice aiguë positive perpendiculaire au plan de symétrie. Le plan des axes fait avec l'axe vertical un angle de 50° dans γ aigu. 2E = 90° 50′. Biréfringence faible. Dispersion peu appréciable $\rho < v$.

Devient à peu près uniaxe vers 140°. La croix noire se disloque assez notablement.

2. — *Sel de nickel.*

Faces observées : *p* (001), o^1 (101), a^2 ($\bar{1}$02), $e^{1/2}$ (021), $d^{1/2}$ (111), $b^{1/2}$ ($\bar{1}$11), *x* (131), *z* (134), *y* ($\bar{1}$32).

0.5302 : 1 : 0.9998 ; γ = 90° 13′

Angles	Calculés	Mesurés
mm (1$\bar{1}$0 110)	123° 48′	—
o^1p (101 001)	—	* 118° 18′
a^2p ($\bar{1}$02 001)	—	* 136° 46′

Angles	Calculés	Mesurés
$e^{1/2}p$ (021 001)	—	* 116° 24′
$d^{1/2}p$ (111 001)	115° 19′	115° 20′
$b^{1/2}p$ ($\bar{1}$11 001)	115° 3′	115° 10′
xp (131 001)	105° 54′	106°
yp ($\bar{1}$32 001)	119° 24′	119° 32′
zp (134 001)	138° 33′	138° 38′

Aucun cristal maclé ne m'a présenté de faces suffisamment planes pour donner des mesures quelque peu exactes. Le plan des axes optiques et la bissectrice obtuse sont perpendiculaires au plan de symétrie. La bissectrice aiguë négative fait un angle de 74° environ avec l'axe c dans γ obtus. Une lame taillée suivant g^1 (010) m'a donné $2H_0 = 138°$.

Devient presque uniaxe vers 120°. La croix noire n'est jamais tout à fait fixe; mais la dislocation est peu considérable.

3. — *Sel de manganèse.*

Faces observées : p (001), g^1 (010), m (110), o^1 (101), a^2 ($\bar{1}$02), $d^{1/2}$ (111), x (131), z (134), y ($\bar{1}$32).

0.5276 : 1 : 1.0008; $\gamma = 90° 13'$

Angles	Calculés	Mesurés
mm ($\bar{1}$10 110)	124° 22′	—
o^1p (101 001)	—	* 117° 58
a^2p ($\bar{1}$02 001)	—	* 136° 48′
$d^{1/2}p$ (111 001)	115° 9′	115° 12′
$d^{1/2}d^{1/2}$ ($1\bar{1}1$ 111)	130° 2′	130° 4′
xp (131 001)	105° 50′	105° 50′
xX ($1\bar{3}1$ 131)	71° 9′	71° 8′
yp ($\bar{1}$32 001)	—	* 119° 38′
yY ($\bar{1}$32 $\bar{1}$3$\bar{2}$)	85° 26′	85° 14′
zp (134 001)	138° 24′	138° 28′

Dans la macle (*fig.* 3):

$z\underline{z}$ (134 $\underline{134}$)	173° 44′	173° 31′
$y\underline{y}$ ($\bar{1}32\,\underline{\bar{1}32}$)	172° 26′	172° 20′
$z\underline{o^1}$ (134 $\underline{\underline{101}}$)	178° 2′	178°

Plan des axes et bissectrice obtuse perpendiculaires à g^1 (010). Bissectrice aiguë négative faisant un angle de 70°30′ avec c dans γ obtus 2E = 105° 30′. Dispersion inappréciable. Biréfringence très faible.

Devient presque uniaxe vers 160°. La croix noire se disloque beaucoup, et l'on observe parfois un écartement des hyperboles qui atteint 35°.

4. — *Sel de cadmium*

Faces observées : p (001), g^1 (010), o^1 (101) a^2 ($\bar{1}02$), x (131), z (134), y ($\bar{1}32$). Les cristaux sont, en général, allongés suivant l'axe a, et la face g^1 (010) est assez développée.

0.5162 : 1 : 0.9798 ; $\gamma = 90°\,9'$

Angles	Calculés	Mesurés
mm ($1\bar{1}0$ 110)	125° 24′	—
o^1p (101 001)	—	* 117° 54′
a^2p ($\bar{1}02$ 001)	—	* 136° 26′
xp (131 001)	106° 2′	106°
zp (134 001)	138° 52′	138° 50′
yp ($\bar{1}32$ 001)	—	* 119° 42′
a^2y ($\bar{1}02\,\bar{1}32$)	133° 8′	133°

Les cristaux petits et troubles ne se prêtent pas à l'étude optique. J'ai pu constater seulement que le plan des axes était perpendiculaire au plan de symétrie et à peu près parallèle à la base ; à travers g^1 (010), on voit une bissectrice positive, probablement obtuse à axes très écartés.

Devient presque uniaxe vers 200°, un peu avant de commencer à se déshydrater.

5. — *Sel de magnésium.*

Quoique les cristaux simples soient assez faciles à obtenir, en cristallisant vers 15°, il est à peu près impossible de les mesurer et plus impossible encore de les tailler. La moindre élévation de température, le plus léger frottement produisent des macles, complexes au point de ne plus donner d'extinction en lumière polarisée et de produire de fines stries sur toutes les faces des pyramides. A 35°, ils présentent déjà l'aspect de la plage V (*fig.* 1); vers 50°, ils sont complètement uniaxes, sans aucune dislocation de la croix noire, et se maintiennent tels pendant assez longtemps après le refroidissement.

J'ai orienté la forme de tous ces sels de façon à faire ressortir leur caractère quasi ternaire, tout en attribuant aux faces des symboles aussi simples que possible. Mais il est facile de voir que la forme se rapproche sensiblement d'un cube rapporté à ses axes quaternaires. Il suffit, pour cela, de doubler l'axe *a*. Les faces deviennent alors :

$$m = (210),\ o^2 = (101),\ a^1 = (\bar{2}01),\ e^{1/2} = (021),\ d^{1/2} = (211)$$
$$b^{1/2} = (\bar{2}11),\ x = (232),\ y = (231),\ z = 234.$$

et l'on a pour les paramètres et le prisme :

		mm
1	1.0719 : 1 : 0.9959	86° 4′
2	1.0678 : 1 : 0.9998	86° 15′
3	1.0577 : 1 : 1.0008	86° 56′
4	1.0323 : 1 : 0.9798	88° 10′

Sur la forme cristalline de quelques sels des terres rares.

Par M. G. Wyrouboff.

SULFATES DE CERIUM.

Il existe, comme on sait, quatre hydrates différents de ce sel, à 5, 8, 9 et $12H^2O$, ce dernier en aiguilles asbestoïdes absolument indéterminables. La forme cristalline des trois premiers a été décrite depuis longtemps, mais cette description est en partie incomplète et en partie inexacte.

1 . $(SO^4Ce)^3, 5H^2O$

Cet hydrate a été mesuré par Des Cloizeaux (1) sous le nom de *sulfate rose de cérium*, sans indication de la compo-

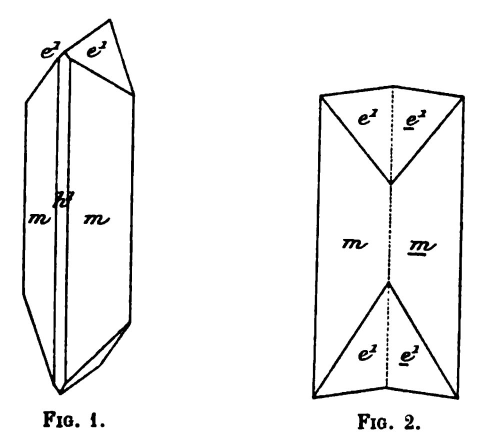


Fig. 1. Fig. 2.

sition chimique; il avait été préparé par M. Damour, et contenait probablement de grandes quantités de didyme.

(1) *Mémoires des savants étrangers*, t. XVIII, p. 682; 1867.

A l'état de pureté, il est parfaitement blanc et présente des aiguilles clinorhombiques assez épaisses, généralement maclées par hémitropie autour d'une normale à h^1 (100) (*fig.* 2). On obtient pourtant quelquefois des cristaux simples (*fig.* 1) avec les faces *m* (110), e^1 (011), et plus rarement h^1 (100).

1.5002 : 1 : 1.0877; 8 990

Angles	Calculés	Mesurés
mm (1$\bar{1}$0 110)	—	* 68° 4′
e^1e^1 (0$\bar{1}$1 011)	—	* 85° 57′
e^1m (011 100)	—	* 132° 20′
e^1h^1 (011 100)	96° 17′	96° 6′

Dans la macle

e^1e^1 (011 011)	167° 26	167° 20

Clivage suivant *m* (110).

Plan des axes optiques et bissectrice aiguë négative perpendiculaires au plan de symétrie. Le plan des axes fait un angle de 33° 15′ avec l'axe *c* dans γ obtus. 2E = 134° 4′. Biréfringence assez forte, dispersion très faible $\rho < v$.

Densité à 17° : 3.176. Nilson et Peterson (1) avaient trouvé 3.220.

$2 (SO^4Ce)^3 8H^2O$.

Il a été depuis longtemps déterminé géométriquement par Marignac (2) et optiquement par Des Cloizeaux (3). Ils avaient tous deux conclu à la symétrie orthorhombique. Cette conclusion est inexacte. Les cristaux sont, en réalité, tri...

(1) *C. R.*, 91, 232.
(2) *Arch. Sc. nat.*, 8, 265.
(3) *Loc. cit.*, p. 606.

niques et présentent toujours des macles plus ou moins complexes par rotation autour d'une normale à g^1 (010) et autour d'une normale à h^1 (100). Les mesures sont difficiles à cause des nombreuses stries résultant des macles répétées et se rencontrant sur presque toutes les faces ; mais les propriétés optiques ne laissent aucun doute sur le système cristallin des individus qui forment l'assemblage complexe. Ces cristaux présentent une particularité très intéressante : c'est, je crois, le premier exemple d'une hémiédrie triclinique, le polyèdre n'ayant, en effet, plus de centre de symétrie.

La forme la plus simple est celle de la figure 3 ; mais le plus souvent on a une succession de lamelles hémitropes dans lesquelles les faces $f^{1/2}$ (111), $d^{1/2}$ $(1\bar{1}1)$, $b^{1/2}$ $(\bar{1}\bar{1}1)$, $c^{1/2}$ $(\bar{1}11)$, x $(2\bar{1}2)$, x^1 (212), y $(\bar{2}\bar{1}2)$, y^1 $(\bar{2}12)$, sont entremê-

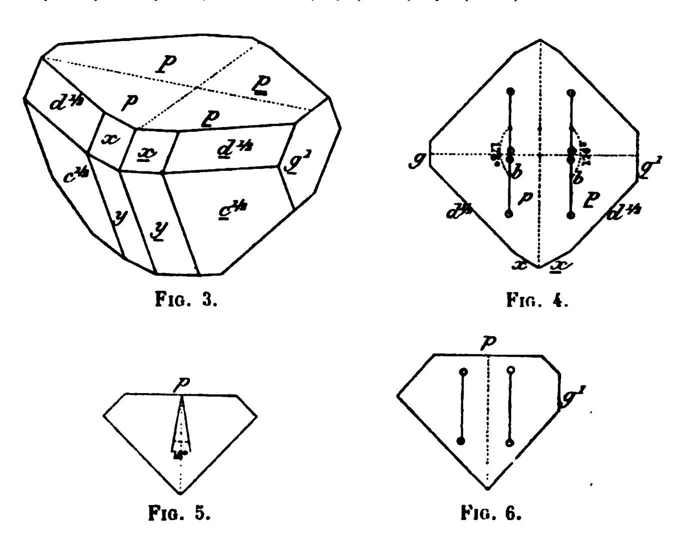


Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 5. Fig. 6.

ées de diverses façons. Sur tous les cristaux sans exception es deux faces p(001) sont développées très inégalement ; le

plus souvent la face parallèle manque complètement. Lorsqu'on examine une lame taillée suivant la base, on aperçoit 4 systèmes d'axes qui ne sont ni parallèles ni normaux aux deux plans de macle et dont les bissectrices ne sont point perpendiculaires à la lame (*fig.* 4). Une lame suivant h^1 (100) donne à peu près la bissectrice obtuse et des extinctions faisant 3° avec la trace de g^1 (010) (*fig.* 5). Le corps est donc triclinique. Le système cristallin ainsi fixé, restait un problème infiniment plus ardu, celui de la détermination de la forme primitive. Il m'a fallu mesurer un très grand nombre de cristaux pour arriver à établir d'une façon certaine les différences peu considérables qui existent entre les inclinaisons des diverses faces octaédriques. En prenant pour base du calcul les meilleures mesures, on a les résultats suivants :

1 : 0650 : 1 : 1.1144

h^1g^1 (100 010)	91° 45′;	$\alpha = 91° 45′$
pg^1 (001 010)	90° 23′;	$\beta = 90° 32′$
ph^1 (000 100)	90° 47′;	$\gamma = 90° 40′$

Angles	Calculés	Mesurés
pg^1 (001 010)	90° 23′	90° 17′
$pf^{1/2}$ (001 111)	—	* 123° 18′
$g^1f^{1/2}$ (010 011)	—	* 128° 26′
$d^{1/2}f^{1/2}$ ($1\bar{1}1$ 111)	103° 11′	103° 10′
$pd^{1/2}$ (001 $1\bar{1}1$)	123° 44′	123° 45′
$g^1d^{1/2}$ ($0\bar{1}0$ $1\bar{1}1$)	—	* 127° 30′
$b^{1/2}p$ ($\bar{1}\bar{1}1$ 001)	122° 15′	—
$g^1b^{1/2}$ ($0\bar{1}0$ $\bar{1}\bar{1}1$)	—	* 128° 24′
$b^{1/2}f^{1/2}$ ($\bar{1}\bar{1}1$ 111)	—	* 65° 33′
$c^{1/2}p$ ($\bar{1}11$ 001)	123° 28′	123° 20′
$c^{1/2}g^1$ ($\bar{1}11$ 010)	127° 8′	—
$b^{3/2}c^{1/2}$ ($\bar{1}\bar{1}1$ $\bar{1}11$)	104° 28′	104° 40′
xp (212 001)	130° 41′	130° 40′

Angles	Calculés	Mesurés
xg^1 $(212\ 010)$	109° 36′	—
x^1p $(2\bar{1}2\ 001)$	130° 24′	—
x^1g^1 $(2\bar{1}2\ 0\bar{1}0)$	112° 16′	112° 20′
y^1p $(\bar{2}12\ 001)$	130° 17′	130° 15′
y^1g^1 $(\bar{2}12\ 010)$	110° 17′	—
y^1p $(\bar{2}\bar{1}2\ 001)$	129° 19′	129° 30′
y^1g^1 $(\bar{2}\bar{1}2\ 0\bar{1}0)$	112° 3′	—

Dans les macles :

$p\underline{p}$ $(001\ \underline{001})$	179° 14′	179° 26′
$\underline{p}\underline{\underline{p}}$ $(\underline{001}\ \underline{\underline{001}})$	179° 38′	179° 44′
$x\underline{x^1}$ $(212\ \underline{2\bar{1}2})$	177° 20′	177° 25′
$y\underline{y^1}$ $(21\bar{2}\ \underline{2\bar{1}\bar{2}})$	178° 14′	178° 20′

Les figures 4, 5 et 6 donnent les extinctions sur $p'h^1$ et g^1, bissectrice aiguë négative, $2E = 128°\ 38'$: biréfringence assez forte, dispersion très faible $e < v$.

Densité : 17° : 2.886.

3. $(SO^4Ce)^3\ 9H_2O$.

Cet hydrate hexagonal a été analysé et très exactement déterminé par Marignac (1). M. Muthmann a récemment nié son existence (2), qui est cependant certaine, car on l'obtient avec un cérium rigoureusement pur aussi bien de solutions neutres que de solutions acidulées par de l'acide sulfurique.

Il est uniaxe positif, sans aucune anomalie. Il est extrêmement peu biréfringent.

Densité (17°) : 2.841.

(1) *Ann. Ch. Ph.* (IV), t. XXX, p. 58 ; 1873.
(2) *Z. f. an. Ch.*, XVI, p. 453 ; 1898.

OXALATES DE CÉRIUM.

1. $(C^2O^4Ce)^3, 11H^2O$.

Sel clinorhombique depuis longtemps décrit par Lang (1) ; mais la formule donnée (avec $24H^2O$) est inexacte, et le calcul

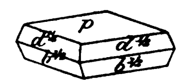


FIG. 7.

de la forme complètement erroné. Les cristaux, toujours très petits, perdent très lentement, à 110° $8H^2O$ (trouvé 18.95 0/0, th. 19.44). Ils laissent, par une calcination au blanc 46.38 0/0 de Ce^3O^4 (th. 46.29 avec Ce = 93).

En me servant des données de Lang, très peu différentes des miennes, mais en choisissant une orientation plus rationnelle, on a les faces (*f* 7) : *p* (001) $d^{1/2}$ (111) $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$) et rarement a^1 ($\bar{1}01$).

$$1.130 : 1 : 2.0098 ; 8 = 95° 13'$$

Angles	Calculés	Mesurés
pa^1 (001 $\bar{1}00$)	115° 20′	—
$d^{1/2}d^{1/2}$ ($1\bar{1}1$ 111)	—	* 93° 14′
$pd^{1/2}$ (001 111)	113° 30′	113° 25′
$b^{1/2}b^{1/2}$ ($\bar{1}\bar{1}1$ $\bar{1}11$)	88° 46′	—
$b^{1/2}a^1$ ($\bar{1}11$ $\bar{1}01$)	—	* 134° 23′
$b^{1/2}p$ ($\bar{1}11$ 000)	—	* 107° 25′

Les cristaux sont trop petits et trop troubles pour permettre un examen optique :

(1) RAMMELSBERG, *Handb. d. Kr. Ch.*, II, 51.

2. $C^2O^4Ce,3H^2O$.

On obtient quelquefois cet hydrate en refroidissant à une température qui ne soit pas trop basse, à 25°-30°, par exemple, une solution chaude d'oxalate de cérium dans de l'acide nitrique dilué. Les cristaux perdent, à 110°,2 molécules d'eau (14.87 0/0, th. 15.15 0/0) et laissent par une forte calcination 48.64 0/0 de Ce^3O^4 (th. 48.65 0/0). Ce sont des tables quadratiques trop petites pour pouvoir être mesurées. En lumière convergente, elles présentent un axe négatif.

OXALATE DE LANTHANE.

$(C^2O^4La)^3,11H^2O$.

Isomorphe avec le précédent; mais les cristaux sont toujours allongés suivant l'axe *a* et présentent en outre la face g^1 (010) (*fig.* 8). Ils donnent, par la calcination, 43.90 0/0 de LaO (th. 43.90, avec La = 92) :

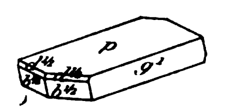


FIG. 8.

1.0730 : 1 : 2.1750; γ = 92° 27.

Angles	Calculés	Mesurés
$d^{1/2}d^{1/2}$ $(\bar{1}\bar{1}1\ 111)$	93° 12′	—
$d^{1/2}g$ (111 010)	133° 24′	133° 20′
$d^{1/2}p$ (111 001)	—	* 110° 6′
$b^{1/2}b^{1/4}$ $(\bar{1}\bar{1}1\ \bar{1}11)$	—	* 91° 16′
$b^{1/2}p$ $(\bar{1}11\ 001)$	—	* 107° 6′

L'oxalate de lanthane donne, comme celui de cérium, un hydrate à $3H^2O$ en minces tables quadratiques à un axe négatif.

NITRATE CERICO-POTASSIQUE.

$(Ce^{3}O^{4}4N^{2}O^{3},2KNO^{3})\ 3H^{2}O$.

Ce sel a été préparé et analysé par Holzmann (1). Il est hexagonal, mais l'état imparfait des faces et sa déliquescence ne permettent pas de mesures très précises. J'ai observé les faces m $(10\bar{1}0)$ a^1 $(11\bar{2}1)$ a^2 $(11\bar{2}2)$.

1 : 1.400.

Angles	Calculés	Mesurés
a^1a^1 $(\bar{1}2\bar{1}1\ 11\bar{2}1)$	131° 52′	—
a^2a^2 $(\bar{1}2\bar{1}3\ 11\bar{2}2)$	146° 30′	—
a^1m $(\bar{1}2\bar{1}1\ \bar{1}100)$	134° 36	134° 45′
a^2m $(\bar{1}2\bar{1}2\ \bar{1}100)$	—	* 119° 36

Uniaxe positif. Biréfringence moyenne.

OXALONITRATE DE DIDYME.

Préparé et analysé par Clèves (2). Assez gros cristaux

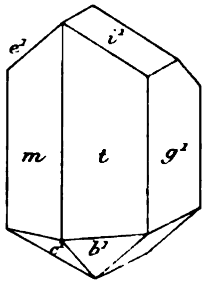


FIG. 9.

(1) *J. f. pr. Ch.*, *J.* 84, p. 78 ; (1861).
(2) *Bull. Soc. ch.* (2), t. XLIII, p. 364 ; 1885.

tricliniques à faces peu planes et ne permettant pas de déterminations très précises. Quelques individus ont donné des mesures passables qu'on a prises pour base de calcul.

Faces observées g^1 (010), m $(1\bar{1}0)$, t (110), e^1 $(0\bar{1}1)$, i^1 (011), b^1 $(\bar{1}\bar{1}2)$, c^1 $(\bar{1}12)$ (*fig*. 9).

0.6424 : 1 : 0.8055

h^1g^1 (100 010) = 88° 48′; α = 88° 2′
pg^1 (001 010) = 93° 3′; β = 93° 27′
ph^1 (001 100) = 103° 53′; γ = 103° 58′

Angles	Calculés	Mesurés
mt $(1\bar{1}0\ 110)$	116° 4′	116° 10′
mg^1 $(1\bar{1}0\ 0\bar{1}0)$	—	* 122° 50′
tg^1 (110 010)	121° 6′	121°
e^1i^1 $(0\bar{1}1\ 011)$	—	* 104° 4′
i^1g^1 (011 010)	—	* 129° 56′
e^1g^1 $(0\bar{1}1\ 0\bar{1}0)$	126°	—
i^1t (011 110)	—	* 119° 20′
e^1t $(0\bar{1}1\ \bar{1}\bar{1}0)$	—	* 82° 50′
i^1m $(011\ \bar{1}10)$	78° 51′	79°
b^1t $(\bar{1}\bar{1}2\ \bar{1}\bar{1}0)$	117° 21′	117° 30′
b^1g^1 $(\bar{1}\bar{1}2\ 0\bar{1}0)$	107° 19′	107° 16′
c^1m $(\bar{1}12\ \bar{1}10)$	120° 3′	120° 14′
c^1g^1 $(\bar{1}12\ 010)$	113° 41′	113° 54′
c^1b^1 $(\bar{1}11\ \bar{1}\bar{1}2)$	139°	—
c^1i^1 $(\bar{1}12\ 011)$	145° 57′	146° 10′
b^1e^1 $(\bar{1}\bar{1}2\ 0\bar{1}1)$	143° 23′	143° 30′

SULFATE DU THORIUM.

$(SO^4Th)^2\ 8H^2O$.

Cet hydrate, qui se dépose toujours en quantité plus ou moins grande à côté de l'hydrate à $9H^2O$, lorsqu'on évapore au-dessus de 20°, est décrit partout comme donnant des cristaux mamelonnés tout à fait indéterminables. Il donne, au contraire, facilement de très gros cristaux clinorhombiques (*fig.* 10), possédant les faces p (001), h^1 (100), m (110), $d^{1/2}$ (111), $b^{1/5}$ (552).

Les faces m sont toujours fortement striées parallèlement à leur intersection avec p.

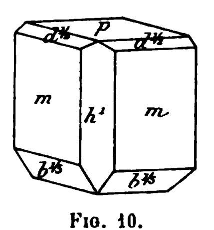


Fig. 10.

0.7535 : 1 : 0.5570; $\gamma = 93°$

Angles	Calculés	Mesurés
ph^1 (001 100)	—	* 93°
mm ($1\bar{1}0$ 110)	106° 4′	—
pm (001 110)	92° 23′	92° 30′
$d^{1/2}d^{1/2}$ ($\bar{1}\bar{1}1$ 111)	—	* 132° 50′
$pd^{1/2}$ (001 111)	—	* 138° 20′
$pb^{1/5}$ (001 $\bar{5}\bar{5}2$)	111° 21′	111° 24′
$b^{1/5}b^{1/5}$ ($\bar{5}\bar{5}2$ $\bar{5}52$)	111° 50′	—
$b^{1/5}h^1$ ($\bar{5}\bar{5}2$ $\bar{1}00$)	136° 26′	136° 20′

Plan des axes optiques parallèle au plan de symétrie ; bissectrice aiguë positive fait un angle de 65° avec l'ax

dans γ obtus $2V = 76°20'$, $n = 1.5168$. Biréfringence très faible. Dispersion à peine marquée $\rho < v$.

SULFATE DE THORIUM, POTASSIUM.

SO^4Th, SO^4K^2, H^2O

Sel connu déjà de Berzélius, mais dont la forme n'a jamais été déterminée. Il se présente en petits cristaux tricliniques atteignant rarement 2 millimètres dans leur plus grande dimension, avec des faces qui paraissent très réfléchissantes. Malheureusement ces faces sont peu planes, et l'on a beaucoup de peine à avoir des mesures satisfaisantes. Faces observées : p (001), h^1 (100), g^1 (010), m $(1\bar{1}0)$, t (110), i^1 (011), $i^{1/2}$ (021, $a^{1/2}$ $(\bar{2}01)$, $f^{1/2}$ (111), $d^{1/2}$ $(1\bar{1}1)$, $b^{1/2}$ $(\bar{1}\bar{1}1)$, b^1 $(\bar{1}12)$, $c^{1/2}$ $(\bar{1}11)$, et x $(\bar{1}\bar{3}1)$ (*fig.* 11).

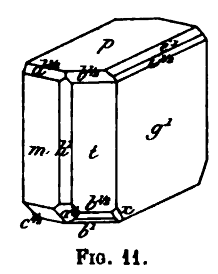


FIG. 11.

0.6029 : 1 : 0.5926

h^1g^1 (100 010) $= 86°16'$; $\alpha = 88°45'$
pg^1 (001 010) $= 84°51'$; $\beta = 85°$
ph^1 (001 100) $= 95°20'$; $\gamma = 95°12'$

Angles	Calculés	Mesurés
h^1g^1 (100 010)	88° 16′	88° 16′
mt $(1\bar{1}0$ 110)	117° 48′	117° 56′
mh^1 $(1\bar{1}0$ 100)	149° 19′	—

Angles	Calculés	Mesurés
th^1 (110 100)	—	* 148° 28′
tg^1 (110 010)	—	* 119° 48′
pg^1 (001 010)	84° 51′	84° 50′
pi^1 (001 011)	148° 10′	—
$pi^{1/2}$ (001 021)	127° 15′	—
$i^1i^{1/2}$ (011 021)	159° 9′	159°
i^1h^1 (011 100)	93° 52′	94°
$i^{1/2}h^1$ (021 100)	92° 15′	92° 18′
$pa^{1/2}$ (001 $\bar{2}$01)	112° 46′	112° 50′
ph^1 (001 100)	—	* 95° 20′
$pf^{1/2}$ (001 111)	—	* 132° 40′
pt (001 110)	—	* 91° 56′
$pb^{1/2}$ (001 1$\bar{1}$1)	131° 23′	131° 20′
pb^1 (001 $\bar{1}\bar{1}$2)	151° 3′	151°
$pd^{1/2}$ (001 $\bar{1}\bar{1}$1)	134° 50′	135°
pm (001 1$\bar{1}$0)	96° 35′	—
$pc^{1/2}$ (001 $\bar{1}$11)	127° 17′	127° 20′
$d^{1/2}f^{1/2}$ (1$\bar{1}$1 111)	136° 2′	136° 10′
$d^{1/2}g^1$ (1$\bar{1}$1 0$\bar{1}$0)	115° 58′	116°
$f^{1/2}g^1$ (111 010)	108°	107° 50′
$b^{1/2}c^{1/2}$ ($\bar{1}\bar{1}$1 $\bar{1}$11)	132° 50′	132° 40′
$b^{1/2}g^1$ ($\bar{1}\bar{1}$1 0$\bar{1}$0)	116° 5′	116° 16′
$c^{1/2}g^1$ ($\bar{1}$11 010)	111° 5′	—
$xb^{1/2}$ ($\bar{1}\bar{3}$1 $\bar{1}\bar{1}$1)	152° 3′	152° 10′
xg_1 ($\bar{1}\bar{3}$1 0$\bar{1}$0)	144° 2′	144°
xp ($\bar{1}\bar{3}$1 001)	118° 4′	118° 14′

Le Secrétaire gérant,
PAUL GAUBERT.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES, 6, RUE GAMBETTA.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1901. — BULLETIN N° 3.

Compte rendu de la séance du 21 mars 1901.

PRÉSIDENCE DE M. WYROUBOFF.

M. LE PRÉSIDENT proclame membre de la Société :

M. Herbert L. BOWMANN, démonstrateur de Minéralogie à l'Université d'Oxford, présenté dans la séance précédente par MM. MIERS et RICHARD.

M. DE LOBEL communique les résultats de ses observations sur les gisements d'or du Klondike.

M. RICHARD communique à la Société une note de M. TARASSENKO, sur la constitution des plagioclases ; elle sera publiée dans le prochain *Bulletin*.

M. H. DUFET fait la communication suivante :

Notices cristallographiques

(VIIIe série)

Par M. H. Dufet.

LXIII. — Fluosilicate de fer.

$FeSiF^6 + 6H^2O$

Ce sel ne se trouve pas parmi les fluosilicates étudiés par Marignac pour la forme cristalline et par Topsoë et Christiansen pour les propriétés optiques. Les cristaux que j'ai étudiés, provenant de l'usine de produits chimiques de MM. Chenal et Douilhet, sont très simples, présentant seulement le rhomboèdre inverse e^1 $(2\bar{2}01)$ et le prisme d^1 $(2\bar{1}\bar{1}0)$, avec les faces p $(10\bar{1}1)$ sous forme de troncatures très réduites ne se prêtant pas aux mesures. Ils sont complètement isomorphes des fluosilicates de Mg, Mn, Zn, Co, Ni, Cu.

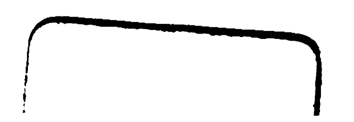
Rhomboèdre de 128°25′

$$\frac{c}{a} = 0,5033$$

	Calculé	Mesuré
pp $(10\bar{1}1)(\bar{1}101)$	128° 25′	»
e^1e^1 $(2\bar{2}01)$ $(02\bar{2}1)$	Fond.	*97° 58′
e^1d^1 $(2\bar{2}01)$ $(2\bar{1}\bar{1}0)$	131° 1′	131° 0′

Propriétés optiques. — Le fluosilicate de fer est *positif*, comme le sont les sels isomorphes du même groupe, à l'exception du sel de cuivre, lequel est *négatif*, mais très peu biréfringent. La croix noire en lumière convergente ne présente pas de dislocation sensible.

Les valeurs trouvées pour les indices, à l'aide du réfrac-



tomètre Abbe-Pulfrich sont les suivantes :

	Ind. extraord.	Ind. ord.
Lithium.....	1.3828	1.3619
Sodium.....	1.3848	1.3638
Thallium....	1,3867	1.3656

Ces valeurs se rapportent à la température de 20° 5; d'après l'accord des différentes mesures, les 4 décimales données doivent être exactes.

Le sel de fer est plus biréfringent que ceux du même groupe : $n_E - n_O = 0{,}0210$, tandis que, dans les autres, il varie, suivant Topsoë et Christiansen, de 0,0172 (manganèse) à 0,0132 (zinc).

LXIV. — Diphosphopentamolybdate de sodium.

$$P^2O^5 (MoO^3)^5 Na^2O + 14H^2O$$

Ce corps, que l'on trouve dans le commerce en très beaux cristaux, n'a pas été étudié, à ma connaissance.

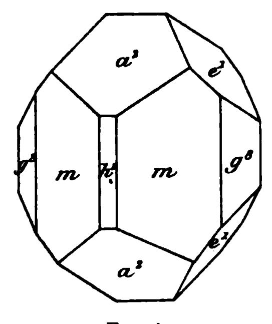


Fig. 1.

Les cristaux incolores appartiennent au système orthorhombique; ils sont formés des faces m (110), g^3 (120),

h^1 (100), rare et très réduite, a^2 (102) et e^1 (011); ils présentent un clivage net suivant a^2 (*fig.* 1).

Orthorhombique.

$a : b : c = 0,7966 : 1 : 1,0726$

	Calculé	Mesuré
mm (110) (1$\bar{1}$0)	Fond.	*102° 55′
mh^1 (110) (100)	141° 27′ 1/2	141° 23′
mg^3 (110) (120)	160° 39′ 1/2	160° 41′
g^3g^3 (120) ($\bar{1}$20)	115° 46′	115° 38′
mg^3 (110) ($\bar{1}$20)	96° 25′ 1/2	96° 24′
mg^3 (110) (1$\bar{2}$0)	83° 34′ 1/2	83° 36′
h^1a^2 (100) (102)	123° 57′	123° 58′
a^2a^2 (102) ($\bar{1}$02)	112° 6′	112° 4′
ma^2 (110) (102)	Fond.	* 115° 54′
a^2e^1 (102) (011)	124° 27′	124° 22′
e^1g^3 (011) (120)	128° 17′	128° 17′
a^2g^3 (102) (120)	107° 16′	107° 16′

Propriétés optiques. — Le plan des axes optiques est parallèle à h^1 (100); la bissectrice aiguë *négative* est perpendiculaire à g^1 (010). L'angle extérieur des axes optiques diminue notablement quand la température s'élève; la variation est d'à peu près 10′ par degré. J'ai trouvé, pour la température de 19° C., et pour les lumières du lithium, du sodium et du thallium, les valeurs suivantes :

2E =	90° 2′	Li
	90° 35′	D
	90° 58′	Tl

La dispersion des axes tient presque uniquement à la réfraction; sur une plaque bien normale à un axe optique,

on n'observe pas de différence sensible pour le lithium et le sodium; avec le thallium, l'angle est un peu plus petit; la différence entre $2V_D$ et $2V_{Tl}$ a été trouvée égale à 4′.

Les indices, mesurés par le réfractomètre Abbe-Pulfrich, ont les valeurs suivantes (à 20°C.).

	n_g	n_m	n_p
Lithium......	1.6430	1.6328	1.5906
Sodium......	1.6520	1.6411	1.5962
Thallium.....	1.6610	1.6494	1.6017

Les valeurs calculées pour 2V et 2E avec ces indices sont :

	2V	2E
Li.....	51° 16′	89° 54′
D.....	51° 18′$\frac{1}{2}$	90° 32′
Tl.....	51° 16′	91° 4′

Les différences entre les valeurs calculées et observées sont très au-dessous de celles que produirait une variation d'une unité du quatrième ordre pour l'un des indices.

LXV. — Ferrocyanure de calcium.

$Ca^2FeCy^6 + 12H^2O$

Ce sel a été décrit au point de vue de la forme cristalline par M. Wyrouboff (1). D'après les angles adoptés comme fondamentaux, il paraît s'être glissé quelques erreurs dans le calcul des paramètres et des angles. J'ai repris les mesures en prenant comme forme primitive une forme moins oblique que celle adoptée par notre savant collègue. M. Wyrouboff

(1) *Ann. de Ch. et Phys.*, 4e série, t. XVI, p. 301 ; 1869.

signale les faces suivantes : p (001), h^1 (100), $o^{3/2}$ (203), o^1 (101), $o^{1/2}$ (201), $a^{1/2}$ ($20\bar{1}$), a^1 ($10\bar{1}$) ; g^1 (010), i^1 (011), $i^{1/2}$(021), $e^{1/2}$ ($02\bar{1}$), e^1 ($01\bar{1}$) ; $d^{1/2}$ ($1\bar{1}1$), $d^{3/4}$ ($2\bar{2}3$), $c^{1/4}$ ($2\bar{2}\bar{1}$). Je n'ai pas rencontré les faces $o^{3/2}$ et $d^{3/4}$, mais j'ai observé, en outre des faces précédentes, les faces $d^{1/4}$ ($2\bar{2}1$), $c^{1/2}$ ($1\bar{1}\bar{1}$) ; $f^{1/4}$ (221), t (110), $b^{1/4}$ ($22\bar{1}$), et $b^{1/2}$ ($11\bar{1}$).

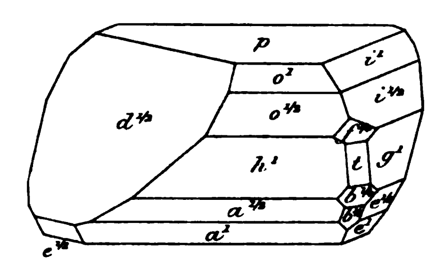


FIG. 2.

Dans les cristaux que j'ai mesurés, les faces dominantes sont $d^{1/2}$, p, g^1 (*fig.* 2). Il existe un clivage net, signalé par M. Wyrouboff, parallèlement à h^1.

Triclinique.

$$a : b : c = 1{,}0543 : 1 : 0{,}8410$$

$$\alpha = 97^\circ\ 9'20''$$
$$\beta = 89^\circ\ 56'45''$$
$$\gamma = 107^\circ\ 24'0''$$

	Calculé	Mesuré	
		Dufet	Wyrouboff
ph^1 (001) (100)	92° 12′	92° 11′	92° 7′
po^1 (001) (101)	141° 14′	141° 14′	141° 11′
o^1h^1 (101) (100)	130° 58′	130° 47′ (app.)	
$po^{1/2}$ (001) (201)	122° 41′	122° 45′	122° 34′
$o^{1/2}h^1$ (201) (100)	149° 31′	149° 36′	
$o^1o^{1/2}$ (101) (201)	161° 27′	161° 30′	
$po^{3/2}$ (001) (203)	151° 35′	»	151° 35′
pa^1 $(00\bar{1})$ $(10\bar{1})$	Fond.	* 139° 26′	138° 49′
h^1a^1 (100) $(10\bar{1})$	Fond.	* 128° 22′	
$pa^{1/2}$ $(00\bar{1})$ $(20\bar{1})$	119° 28′	119° 26′	119° 47′
$h^1a^{1/2}$ (100) $(20\bar{1})$	148° 20′	148° 21′	
$a^1a^{1/2}$ $(10\bar{1})$ $(20\bar{1})$	160° 2′	159° 57′	
pg^1 (001) (010)	Fond.	* 97° 29′	97° 24′
pi^1 (001) (011)	141° 54′	141° 32′ (app.)	141° 55′
$pi^{1/2}$ (001) (021)	125° 8′	125° 4′	125° 30′
$g^1i^{1/2}$ (010) (021)	152° 21′	152° 17′	
pe^1 $(00\bar{1})$ $(01\bar{1})$	135° 22′	135° 24′	135° 14′
g^1e^1 (010) $(01\bar{1})$	127° 9′	127° 13′	
$pe^{1/2}$ $(00\bar{1})$ $(02\bar{1})$	Fond.	* 113° 47′	113° 42′
$g^1e^{1/2}$ (010) $(02\bar{1})$	148° 44′	148° 47′	
$e^1e^{1/2}$ $(01\bar{1})$ $(02\bar{1})$	158° 25′	158° 28′	
$e^{1/2}i^{1/2}$ $(02\bar{1})$ (021)	121° 5′	121° 4′	
h^1g^1 (100) (010)	Fond.	* 107° 32′	107° 40′
h^1t (100) (110)	142° 24′	142° 25′	
tg^1 (110) (010)	145° 8′	145° 4′	

	Calculé	Mesuré	
		Dufet	Wyrouboff
$pd^{3/4}$ (001) ($2\bar{2}3$)	144° 33′	»	145° 20′ (?)
$pd^{1/2}$ (001) ($1\bar{1}1$)	132° 17′	132° 18′	132° 28′
$pd^{1/4}$ (001) ($2\bar{2}1$)	112° 28′	112° 42′ (app.)	
$pc^{1/4}$ ($00\bar{1}$) ($2\bar{2}\bar{1}$)	120° 2′	120° 11′	122° (app.)
pc^{12} ($00\bar{1}$) ($1\bar{1}\bar{1}$)	137° 2′	136° 40′ (app.)	
$c^{1/2}d^{1/2}$ ($1\bar{1}\bar{1}$) ($1\bar{1}1$)	90° 41′	90° 34′	
$c^{1/4}d^{1/4}$ ($\bar{2}\bar{2}\bar{1}$) $2\bar{2}1$)	127° 20′	127° 19′	
$c^{1/4}c^{1/4}$ ($1\bar{1}\bar{1}$) ($2\bar{2}\bar{1}$)	163° 0′	162° 10′ (app.)	
pt (001) (110)	96° 6′	96° 0′	
$tf^{1/4}$ (110) (221)	160° 52′	161° 3′	
$tb^{1/4}$ (110) ($22\bar{1}$)	159° 28′	159° 25′	
$pb^{1/4}$ ($00\bar{1}$) ($22\bar{1}$)	104° 26′	104° 26′	
$tb^{1/2}$ (110) ($11\bar{1}$)	142° 2′	142° 3′	
$g^1d^{1/2}$ ($0\bar{1}0$) ($1\bar{1}1$)	111° 34′	111° 29′	
$o^1d^{1/2}$ (101))$1\bar{1}1$)	141° 45′	141° 36′	
o^1g^1 (101) (010)	106° 41′	106° 58′	
$g^1f^{1/4}$ (010) (221)	142° 3′	142° 5′	
$f^{1/4}o^{1/2}$ (221) (201)	146° 36′	146° 41′	
$g^1o^{1/2}$ (010) (201)	108° 39′	108° 39′	
$g^1b^{1/4}$ (010) ($22\bar{1}$)	138° 47′	138° 50′	
$g^1c^{1/4}$ ($0\bar{1}0$) ($\bar{2}\bar{2}\bar{1}$)	126° 43′	126° 56′	
$g^1c^{1/2}$ ($0\bar{1}0$) ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$)	120° 59′	120° 52′	
$a^1c^{1/2}$ ($10\bar{1}$) ($\bar{1}1\bar{1}$)	143° 38′	143° 42′	
a^1g^1 ($10\bar{1}$) (010)	95° 23′	95° 23′	
$h^1d^{1/2}$ (100) ($1\bar{1}1$)	116° 13′	116° 4′	116° 4′
$e^1d^{1/2}$ ($0\bar{2}1$) ($1\bar{1}1$)	143° 16′	143° 8′	143° 30′
h^1e^1 (100) ($02\bar{1}$)	100° 31′	100° 46′	100° 52′
$h^1b^{1/2}$ (100) ($11\bar{1}$)	130° 49′	130° 47′	
$e^1b^{1/2}$ ($02\bar{1}$) ($11\bar{1}$)	149° 42′	150° 3′	

	Calculé	Mesuré	
		Dufet	Wyrouboff
[$h^1b^{1/4}$ (100) $(22\bar{1})$	139° 23′	139° 26′	
$h^1e^{1/2}$ (100) $(02\bar{1})$	104° 59′	104° 47′	105° 12′
$e^{1/2}b^{1/4}$ $(02\bar{1})$ $(22\bar{1})$]	145° 36′	145° 44′	
$h^1i^{1/2}$ (100) (021)	105° 27′	»	105° 34′ (1) (?)
h^1i^1 (100) (011)	102° 23′	»	102° 37′
[$d^{1/2}e^{1/2}$ $(1\bar{1}1)$ $(0\bar{2}1)$	133° 45′	133° 40′	
$d^{1/2}o^{1/2}$ $(1\bar{1}1)$ (201)	135° 32′	135° 21′	
$e^{1/2}o^{1/2}$ $(02\bar{1})$ (201)]	90° 43′	90° 40′ (app.)	
$d^{1/2}a^1$ $(\bar{1}\bar{1}1)$ $(\bar{1}01)$	103° 54′	103° 43′	
$d^{1/2}a^{1/2}$ $(1\bar{1}1)$ $(20\bar{1})$	91° 49′	91° 43′	
$d^{1/2}i^{1/2}$ $(\bar{1}\bar{1}1)$ (021)	90° 40′	90° 35′	

Propriétés optiques. — J'ai étudié les propriétés optiques du ferrocyanure de calcium sur de gros cristaux parfaitement limpides, présentant les faces p, g^1 (dominantes), h^1, $d^{1/2}$.

Les trois indices principaux se mesurent facilement au réfractomètre Abbe-Pulfrich; j'ai trouvé, pour la température de 20° C., les valeurs suivantes :

	n_g	n_m	n_p
Lithium.......	1.5902	1.5764	1.5646
Sodium	1.5961	1.5818	1.5700
Thallium......	1.6017	1.5871	1.5753

On voit que les cristaux sont optiquement *positifs*. Les valeurs calculées pour l'angle des axes 2V, au moyen des indices, sont :

Li.............	2V =	86° 12′
D		85° 12′
Tl.............		84° 38′

(1) Le texte porte 110,54 ; je pense qu'il faut lire 105,54.

Pour déterminer l'orientation des axes d'élasticité optique, j'ai employé la méthode que j'ai exposée, il y a quelques années (1). Elle consiste, en principe, à déterminer sur une plaque dont l'orientation est connue par rapport aux axes cristallographiques, les angles que font les axes optiques, observés dans un liquide plus réfringent que la plaque, avec la normale à la plaque, ainsi que l'angle apparent des axes optiques. On en déduit, en connaissant l'indice du liquide et l'indice moyen du cristal, l'angle extérieur des axes, et les angles que font les deux bissectrices et la ligne moyenne avec la normale à la plaque. On répète les mêmes mesures sur une seconde plaque d'orientation différente et connue; il suffit d'un des trois angles calculés pour orienter par rapport à la première normale le trièdre des axes d'élasticité optique. On peut alors calculer les deux autres angles, ce qui donne une utile vérification des mesures. Enfin, pour savoir de quel côté du plan des deux normales se trouve un axe donné d'élasticité, on peut répéter les mesures sur une troisième face, ou plus simplement y arriver par l'observation de la position des axes optiques par rapport aux faces cristallines qui limitent les plaques utilisées.

J'ai pris d'abord une plaque parallèle à g^1 ; un axe optique n'est pas très éloigné de la normale et sort même dans l'air. Je trouve, pour les angles des deux bissectrices et de la ligne moyenne avec la normale à g^1, les valeurs :

Bissectrice aiguë	16° 17′ 35″
Bissectrice obtuse	77° 20′ 20″
Ligne moyenne............	79° 53′ 40″

(1) Sur la détermination de l'orientation optique et de la dispersion des axes dans les cristaux tricliniques (*Bull. Soc. Minér.*, t. XIII, p. 341; 1890).

et pour l'angle vrai des axes :

$$2V_D = 85° 7' 40''$$

La seconde plaque a été prise parallèle à p ; ici c'est la bissectrice obtuse qui est voisine de la normale, et ce qu'on observe, c'est l'angle obtus des axes. Je trouve pour les angles avec la normale à p :

Bissectrice aiguë	87° 35′ 40″
Bissectrice obtuse	16° 28′ 5″
Ligne moyenne............	72° 40′ 15″

et pour l'angle vrai

$$2V_D \text{ (obtus) } 94° 52' 40''$$
$$2V_D \text{ (aigu) } 85° 7' 20''$$

valeur identique à la précédente.

La bissectrice aiguë se trouve dans l'angle obtus de 97° 29′ que font, d'après les mesures cristallographiques, les deux normales. Il est facile de calculer l'angle des normales aux plaques employées, en partant des valeurs trouvées pour les axes d'élasticité optique; on trouve ainsi la valeur 97° 15′. La vérification paraîtra suffisante, parce qu'il avait été nécessaire de repolir les plaques, ce qui avait amené forcément une variation de quelques minutes dans leur orientation.

En admettant l'angle de 97° 29′ et prenant pour inconnue la distance de la bissectrice obtuse à la normale à g^1, on trouve 77° 10′ au lieu de 77° 20′. J'adopterai cette valeur calculée.

En observant les anneaux dans la plaque normale à g^1, on voit immédiatement que le plan des axes se trouve dans l'angle aigu que fait la normale à h^1 avec le plan normal à

l'arête pg^1. Il ne reste plus qu'à calculer les angles que font les deux bissectrices et la ligne moyenne avec la normale à h^1. La bissectrice obtuse se trouve dans le triangle formé par les normales aux faces (001), (100), (010) et très près du plan des deux premières droites ; l'angle avec le plan n'est que de 48′. La bissectrice aiguë se trouve dans le triangle formé par les pôles de $(0\overline{01})$, (100), (010), et la ligne moyenne dans le triangle des pôles $(00\bar{1})$, (100), $(0\bar{1}0)$. à 2° 35′ de la zone des deux dernières faces.

Les valeurs des angles sont les suivantes :

Bissectrice aiguë.

16° 18′ avec normale à g^1 (010)
87° 56′ avec normale à p $(00\bar{1})$
59° 31′ avec normale à h^1 (100)

Bissectrice obtuse.

77° 10′ avec normale à g^1 (010)
16° 28′ avec normale à p (001)
71° 21′ avec normale à h^1 (100)

Ligne moyenne.

79° 54′ avec normale à g^1 $(0\bar{1}0)$
73° 40′ avec normale à p $(00\bar{1})$
36° 51′ avec normale à h^1 (100)

Les résultats précédents se rapportent à la raie D. Pour les autres couleurs, on voit, en observant les axes sur une plaque g^1, dans la naphtaline bromée, qu'ils présentent une dispersion inclinée bien nette ; les autres dispersions sont insensibles, et l'on peut admettre que la ligne moyenne est la même pour toutes les longueurs d'onde. Dans le plan des

axes, les axes pour le rouge sont plus écartés que pour le jaune; pour l'axe le plus rapproché de la normale à g^1, l'écart entre les axes pour les lumières du lithium et du sodium est de 39′, et pour le thallium et le sodium 37′; pour le second axe, le plus éloigné de la normale, l'écart est de 25′ pour Li — D, et de 20′ pour D — Tl, avec $\rho > v$. On peut facilement, d'après ces mesures, calculer l'angle vrai des axes et l'écart des bissectrices; on trouve ainsi :

$$2V_{Li} = 85°58'$$
$$2V_D = 85°\ 8'$$
$$2V_{Tl} = 84°25'$$

L'écart entre les bissectrices est 11′ pour le lithium et le sodium et 13′ pour le thallium et le sodium, la bissectrice pour le rouge étant plus rapprochée de la normale à g^1. Ces valeurs de l'angle des axes sont très suffisamment d'accord avec les valeurs calculées, données plus haut.

LXVI. — Chromicyanure de potassium.

$K^6Cr^2Cy^{12}$

Les cristaux, d'un jaune clair, présentent absolument la forme et les particularités du ferricyanure de potassium : même clivage parallèle à h^1, mêmes macles fréquemment répétées autour d'une normale à h^1. J'y ai rencontré les faces m (110), h^1 (100), h^3 (210) très petite et douteuse; e^1 (011), $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$), x (322), très fréquentes, $d^{1/2}$ (111), y (544), v ($\bar{1}22$), z (566), u ($\bar{3}44$); ces deux dernières non signalées dans le ferricyanure.

Clinorhombique.

$$a : b : c = 1.2873 : 1 : 0,8045$$
$$\beta = 89^\circ\, 56'50''$$

	Calculé	Mesuré	
mm (110) $(1\bar{1}0)$	Fond.	* 75° 41′	
mh^1 (110) (100)	127° 50′ 1/2	127° 49′	
mh^3 (110) (210)	160° 36′	160° 2′	(app.)
h^1x (100) (322)	126° 10′	126° 10′	
h^1y (100) (544)	121° 22′	121° 20′	
$h^1d^{1/2}$ (100) (111)	116° 0′	115° 59′ 1/2	
h^1z (100) (566)	112° 7′	112° 4′	
h^1e^1 (100) (011)	Fond.	* 90° 2′ 1/2	
$\overline{h^1}e^1$ $(\bar{1}00)$ (011)	89° 57′ 1/2	89° 57′ 1/2	
$\overline{h^1}v$ $(\bar{1}00)$ $(\bar{1}22)$	103° 38′ 1/2	103° 35′	
$\overline{h^1}u$ $(\bar{1}00)$ $(\bar{3}44)$	110° 2′	110° 3′	
$\overline{h^1}b^{1/2}$ $(\bar{1}00)$ $(\bar{1}11)$	115° 56′	115° 56′ 1/2	
e^1x (011) (322)	143° 52′ 1/2	143° 44′	
e^1y (011) (544)	148° 42′	148° 44′	
e^1z (011) (566)	157° 55′	158° 3′	
e^1v (011) $(\bar{1}22)$	166° 19′	160° 49′	(app.)
e^1u (011) $(\bar{3}44)$	159° 56′	166° 5′	
$e^1b^{1/2}$ (011) $(\bar{1}11)$	154° 1′ 1/2	154° 6′	
$vd^{1/2}$ $(\bar{1}22)$ (111)	130° 21′	130° 18′	
$vb^{1/2}$ $(\bar{1}22)$ $(\bar{1}11)$	167° 43′	167° 31′	
e^1e^1 (011) $(0\bar{1}1)$	Fond.	* 102° 22′	
xx (322) $(3\bar{2}2)$	119° 12′	119° 9′ 1/2	
yy (544) $(5\bar{4}4)$	115° 17′	115° 25′	
$d^{1/2}d^{1/2}$ (111) $(1\bar{1}1)$	111° 25′	111° 23′	
$b^{1/2}b^{1/2}$ $(\bar{1}11)$ $(\bar{1}\bar{1}1)$	111° 22′	111° 19′	
me^1 (110) (011)	119° 42′	119° 46′	
$\overline{m}e^1$ $(\bar{1}10)$ (011)	119° 39′	119° 43′	

	Calculé	Mesuré
[$md^{1/2}$ (110) (111)	135° 33′	135° 35′
[$mb^{1/2}$ $(\bar{1}10)$ $(1\bar{1}1)$	135° 31′	135° 28′
[mx (110) (322)	139° 37′	139° 41′
[mv $(\bar{1}10)$ $(1\bar{2}2)$	128° 44′	128° 55′
[my (110) (544)	137° 54′	»
[mu $(\bar{1}10)$ $(3\bar{4}4)$	132° 28′	132° 20′
mz (110) (566)	133° 36′	133° 30′

Propriétés optiques. — Le plan des axes est parallèle à g^1 (010); la bissectrice aiguë *positive* paraît coïncider avec l'axe vertical; je n'ai pu trouver aucune différence nette dans les directions d'extinction des cristaux maclés. La dispersion inclinée est insensible. J'ai trouvé, à la température de 22° C., pour l'angle extérieur des axes optiques :

2E = 72° 23′ (lithium)
73° 32′ (sodium)
74° 27′ (thallium)

Les indices de réfraction principaux ont été mesurés au réfractomètre Abbe-Pulfrich. On a :

	n_g	n_m	n_p
Lithium.......	1.5324	1.5198	1.5176
Sodium.......	1.5373	1.5244	1.5221
Thallium......	1.5423	1.5292	1.5268

Les valeurs calculées pour 2E sont 72° 15′ (Li), 73° 16′ (Na), 74° 32′ 30″ (Tl).

Les quatre décimales données pour les indices doivent être exactes; il suffirait d'ajouter ou de retrancher, suivant le cas, une unité du cinquième ordre à l'indice moyen pour retrouver les valeurs observées de 2E.

LXVII. — Rhodicyanure de potassium.

$K^6Rh^2Cy^{12}$

Ce nouveau sel a été obtenu par M. Leidié, qui en a donné la préparation et établi la formule (*Comptes Rendus*, t. CXXX, p. 87, 1er sem. 1900). Il se présente sous forme de cristaux incolores, ayant l'aspect et les macles caractéristiques du ferricyanure de potassium. Ils sont formés des faces m (110), h^1 (100) (rarement plane), $d^{1/2}$ (111), v ($\bar{1}22$), dominantes, $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$), plus rare. Certains cristaux présentent des faces courbes, avec l'apparence de pyramides très allongées ; ceux-là sont peu ou point maclés.

Clinorhombique.

$a : b : c = 1.2858 : 1 : 0,8109$
$\beta = 89°31'$

	Calculé	Mesuré
mm (110) ($1\bar{1}0$)	Fond.	* 75° 45′
mh^1 (110) (100)	127° 52′ 1/2	»
$h^1d^{1/2}$ (100) (111)	116° 24′	116° 40′
$h^1b^{1/2}$ ($\bar{1}00$) ($\bar{1}11$)	115° 47′	115° 34′
h^1v ($\bar{1}00$) ($\bar{1}22$)	103° 24′	103° 17′
vv ($\bar{1}22$) ($\bar{1}\bar{2}2$)	Fond.	* 104° 26′
$md^{1/2}$ (110) (111)	135° 55′	136° 15′
mv (110) ($1\bar{2}\bar{2}$)	Fond.	* 128° 45′

Propriétés optiques. — Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 (010). La bissectrice aiguë, *positive*, paraît absolument coïncider avec l'axe vertical; dans une plaque parallèle à g^1, les extinctions sont simultanées dans les cristaux maclés parallèlement à h^1 (100). C'est ce qui arrive

également dans le manganicyanure de potassium (1) et dans le chromicyanure.

J'ai mesuré les indices pour la raie D, au moyen du réfractomètre Abbe-Pulfrich. J'ai trouvé, pour la température de 20° C.

$$n_g = 1.5634$$
$$n_m = 1.5513$$
$$n_p = 1.5498$$

On calcule, d'après ces nombres, pour l'angle des axes optiques,

$$2V = 39°\ 1'$$
$$2E = 62°\ 24'$$

Les mesures directes de l'angle extérieur des axes ont donné :

$$2E = 62°\ 55' \text{ (lithium)}$$
$$63°\ 35' \text{ (sodium)}$$
$$64°\ 23' \text{ (thallium)}$$

La dispersion inclinée est insensible.

La vérification pourra sembler suffisante, étant donnée la biréfringence assez faible de la substance ; on trouverait, en effet, la valeur observée $2E = 63°\ 35'$, en admettant avec les mêmes valeurs de n_g et de n_p, la valeur 1.55135 pour n_m au lieu de 1.5513.

(1) TIETZE, *N. Jahrb. f. Min.*, Beil.-B. XII, p. 48 ; 1898.

LXVIII. — α. Phénylhydrazone du pyruvate éthylique.

$$C^6H^5AzH—Az{=}C \begin{cases} CH^3 \\ COOC^2H^5 \end{cases}$$

Ce corps, préparé d'abord par M. E. Fischer (1), a été obtenu en beaux cristaux par M. L. J. Simon, qui a montré que, dans l'action de la phénylhydrazine sur le pyruvate éthylique, on obtenait deux isomères, celui-ci, le composé α, qui fond à 118°-120°, et un autre, beaucoup plus fusible, le composé β, qui fond à 31°-32° (2).

Les cristaux, incolores ou légèrement jaunâtres, sont clinorhombiques ; ils ne paraissent pas avoir de clivages. Obtenus dans l'alcool éthylique ou dans l'acétone, ils présentent

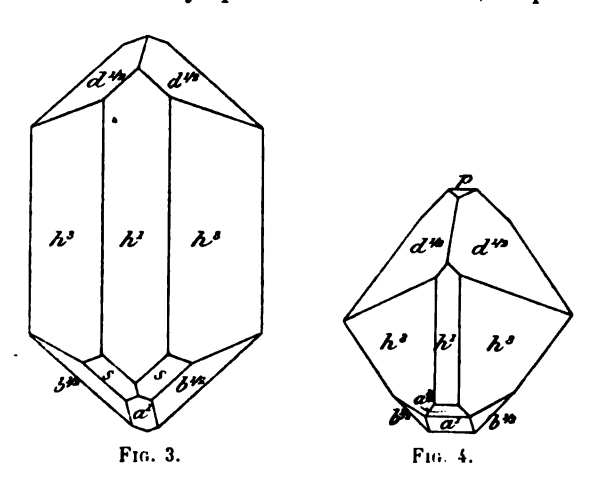


Fig. 3. Fig. 4.

un prisme de 100° environ que j'ai appelé h^3 (210), avec h^1 (100), et les hémipyramides $d^{1/2}$ (111), $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$), avec la face a^1 ($\bar{1}01$), ainsi que les faces *s* ($\bar{3}11$), petites et man-

(1) E. Fischer et F. Jourdan, *Ber. d. D. chem. Ges.*, t. XVI, p. 2243, 1883.
(2) L. J. Simon, *C. R.*, t. CXXXI, p. 692 ; 1900.

quant souvent (*fig.* 3). Dans le chloroforme (*fig.* 4), on obtient des octaèdres clinorhombiques formés des faces $d^{1/2}$ (111) et h^3 (210), avec h^1 (100), et des faces très petites $a^{1/2}$ ($\bar{2}01$), a^1 ($\bar{1}01$) et p (001) ; rarement $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$), très réduit. Avec l'acétate éthylique, les cristaux sont au contraire formés du prisme h^3 (210) avec h^1 (100) et g^1 (010), et des faces $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$) dominantes, avec a^1 ($\bar{1}01$), s ($\bar{3}11$) et $a^{1/2}$ ($\bar{2}01$) ; ils présentent, en outre, assez fréquemment les faces e^2 (012), avec p (001) et $d^{1/2}$ (111) très réduits.

Clinorhombique

$$a : b : c = 1.6814 : 1 : 0{,}9103$$
$$\beta = 87^\circ 3'$$

	Calculé	Mesuré
a^1h^1 ($10\bar{1}$) (100)	Fond.	* 116° 8′
$a^{1/2}h^1$ ($20\bar{1}$) (100)	135° 55′	135° 55′
$a^1a^{1/2}$ ($10\bar{1}$) ($20\bar{1}$)	160° 13′	160° 13′
ph^1 (001) (100)	92° 57′	92° 55′
pa^1 (001) ($\bar{1}01$)	150° 55′	150° 54′
h^1h^3 (100) (210)	Fond.	* 139° 59′
g^1h^3 (010) (210)	130° 1′	130° 0′
h^3h^3 (210) ($2\bar{1}0$)	99° 58′	99° 58′
$h^3\bar{h}^3$ (210) ($\bar{2}10$)	80° 2′	80° 2′
$h^1d^{1/2}$ (100) (111)	113° 42′	113° 40′
$d^{1/2}b^{1/2}$ (111) ($\bar{1}11$)	136° 21′ 1/2	136° 19′
$b^{1/2}s$ ($\bar{1}11$) ($\bar{3}11$)	150° 35′ 1/2	150° 32′
sh^1 ($\bar{3}11$) ($\bar{1}00$)	139° 21′	139° 20′
$b^{1/2}h^1$ ($\bar{1}\bar{1}1$) ($\bar{1}00$)	109° 56′ 1/2	109° 58′
h^1e^2 (100) (012)	92° 41′	92° 43′

	Calculé	Mesuré
g^1e^2 (010) (012)	114° 27′	114° 43′ (app.)
pe^2 (001) (012)	155° 33′	155° 37′
e^2e^2 (012) $(0\bar{1}2)$	131° 6′	130° 31′ (app.)
$d^{1/2}d^{1/2}$ (111) $(1\bar{1}1)$	103° 54′	103° 51′
$b^{1/2}b^{1/2}$ $(11\bar{1})$ $(1\bar{1}\bar{1})$	101° 29′	101° 29′
$a^1b^{1/2}$ $(10\bar{1})$ $(11\bar{1})$	Fond.	* 140° 44′ 1/2
$g^1b^{1/2}$ (010) $(11\bar{1})$	129° 15′ 1/2	129° 15′
ss $(31\bar{1})$ $(3\bar{1}\bar{1})$	127° 58′	127° 57′
ph^3 (001) (210)	92° 15′ 1/2	92° 20′
$h^3d^{1/2}$ (210) (111)	134° 46′	134° 45′
$d^{1/2}e^2$ (111) (012)	152° 49′	152° 50′
e^2a^1 (012) $(\bar{1}01)$	142° 42′	142° 43′
$a^1d^{1/2}$ $(\bar{1}01)$ (111)	115° 31′	115° 30′
a^1s $(\bar{1}01)$ $(\bar{3}\bar{1}1)$	140° 3′	140° 4′
sh^3 $(\bar{3}\bar{1}1)$ $(\bar{2}\bar{1}0)$	149° 40′	149° 40′
a^1h^3 $(\bar{1}01)$ $(\bar{2}\bar{1}0)$	109° 43′	109° 42′
$h^3b^{1/2}$ (210) $(11\bar{1})$	131° 55′	131° 58′
$e^2b^{1/3}$ $(01\bar{2})$ $(11\bar{1})$	151° 23′	151° 24′
$h^3b^{1/2}$ (210) $(\bar{1}11)$	98° 23′	98° 26′
$h^3a^{1/2}$ (210) $(20\bar{1})$	123° 23′	123° 30′
$sa^{1/2}$ $(31\bar{1})$ $(20\bar{1})$	151° 40′	151° 42′
$a^{1/2}b^{1/2}$ $(20\bar{1})$ $(1\bar{1}\bar{1})$	136° 46′	136° 45′
$b^{1/2}s$ $(1\bar{1}\bar{1})$ $(31\bar{1})$	108° 26′	108° 27′
$pd^{1/2}$ (001) (111)	134° 11′	134° 15′
$pb^{1/2}$ (001) $(\bar{1}\bar{1}1)$	132° 35′	132° 35′
$d^{1/2}b^{1/2}$ (111) $(\bar{1}\bar{1}1)$	86° 46′	86° 44′

Propriétés optiques. — Les propriétés optiques de ce corps sont des plus remarquables; c'est, parmi les biaxes,

le corps le plus biréfringent que l'on connaisse. La différence entre les indices maximum et minimum atteint 0,3985 (D). Après lui viennent le benzénazo-*o*-phénétol (1) avec $n_g - n_p = 0,3792$ (Li), le triphénylbenzène (1, 3, 5) (2) avec $n_g - n_p = 0,3484$ (D) et la triphényltétrahydropyrazine (3) avec $n_g - n_p = 0,3374$ (D). Il est assez remarquable que tous ces corps, après lesquels on ne trouve que des biréfringences beaucoup plus faibles, soient des dérivés du benzène.

L'indice minimum se mesure très facilement au réfractomètre; il est égal à 1,4867 (D); les mesures sont très concordantes, et la quatrième décimale paraît exacte. Pour l'indice moyen, il faut employer un liquide de mouillage très réfringent, l'iodure de méthylène saturé de soufre; l'indice est trop voisin de celui de l'iodure de méthylène pour donner des limites bien visibles; je trouve ainsi $n_m = 1.7258$ en moyenne, avec une erreur qui ne dépasse pas deux unités du quatrième ordre.

J'ai déterminé l'indice maximum au moyen de l'angle des axes; la substance est beaucoup trop fragile pour qu'on puisse y tailler des prismes, et elle ne prend qu'un poli très imparfait. Les mesures précédentes ont été faites sur des faces naturelles, h^1 ou h^3.

Les cristaux sont négatifs; la bissectrice obtuse coïncide avec l'axe de symétrie; la bissectrice aiguë se trouve dans l'angle aigu des axes cristallographiques. Les mesures d'indices permettent, dans un corps aussi biréfringent, de déterminer sa position avec bien plus d'exactitude que toute autre méthode. En effet, dans la face h^1, on observe par réflexion totale un minimum absolu répondant à l'indice

(1) TIETZE, *N. Jahrb. f. Min.*, 1899, t. II, p. 92.
(2) ARZRUNI, *Gr. Zeits.*, t. I, p. 446; 1877.
(3) ARTINI, *Giorn. di Sansoni*, t. III, p. 238; 1893.

minimum, un minimum relatif dans la podaire extérieure répondant à l'indice moyen, et un maximum relatif dans la podaire intérieure. A ce maximum répond un indice extraordinaire, qui est l'inverse d'un des rayons vecteurs de l'ellipse dont les axes sont $\frac{1}{n_p}$ et $\frac{1}{n_m}$; on en déduit immédiatement avec les valeurs des deux indices l'angle de la bissectrice aiguë avec la face h^1. On trouve ainsi 47° 4′ pour l'angle de la bissectrice aiguë avec l'axe vertical (*dans l'angle aigu des axes*).

L'angle des axes a été mesuré sur deux plaques normales aux deux bissectrices, que M. Werlein a réussi à tailler. Les observations sont faites dans l'iodure de méthylène; l'indice du liquide (1.7393) très voisin de l'indice moyen (1.7258) rend tout à fait négligeables les erreurs dues aux défauts de taille. Les résultats s'accordent parfaitement avec les mesures d'indice. On obtient en effet :

Bissectrice aiguë.....	$2H_a = 67°\,18'\,40''$
Bissectrice obtuse....	$2H_0 = 110°\,47'\,40''$

d'où :

$$2V = 67°\,54'\,20''$$

et avec l'indice du liquide déterminé immédiatement à la même température, on trouve, pour l'indice moyen du cristal, exactement la même valeur que par réflexion totale 1.7258.

L'angle vrai des axes donne, par la formule connue, l'indice maximum 1.8802.

On a donc, en résumé, pour les propriétés optiques de ce corps :

Signe optique —
Plan des axes normal à g^1 (010)
Angle de la bissectrice aiguë avec c : 47° 4' dans l'angle aigu
Angle des axes 2V = 67° 54'
$n_g = 1.8802$
$n_m = 1.7258$
$n_p = 1.4867$

Les axes présentent une dispersion horizontale notable avec $\rho < v$. Le plan des axes rouges est plus rapproché de la normale à h^1 (100) que le plan des axes jaunes.

Les mesures sur la face h^3 (210) permettent une observation intéressante ; cette face est presque parallèle à un axe optique ; l'angle de la normale à la face avec l'axe de réfraction conique *extérieure* est de 89° 25' ; comme, d'autre part, l'angle du cône de réfraction conique est très considérable, 13° 10', on observe, sur une différence d'azimuth de plus de 6°, les curieuses apparences observées par F. Kohlraush sur l'acide tartrique et dont M. Ch. Soret a donné la théorie.

LXIX. — β. Phénylhydrazone du pyruvate éthylique.

Cet isomère du corps précédent se présente en cristaux anorthiques, toujours crevassés intérieurement, au point que je n'ai pu faire aucune observation sur leurs propriétés optiques. Les faces sont pourtant assez planes, et les mesures goniométriques présentent une concordance suffisante. La forme est simple ; les cristaux sont composés des faces p (001), m ($1\bar{1}0$), t (110), et aplatis suivant p. Les faces g^1 (010) et e^1 ($01\bar{1}$) sont petites et manquent souvent ; j'ai constaté l'existence de la face d^1 ($1\bar{1}2$), par sa position à l'intersection des zones pm et e^1t, mais sans pouvoir me-

surer d'angles ; les faces $d^1/^2$ $(1\bar{1}1)$ et f^3 (116) ont été recon-

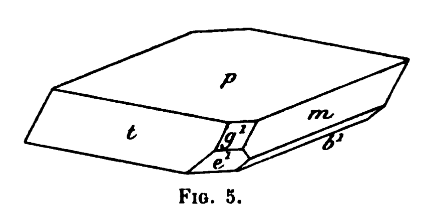


Fig. 5.

nues par des mesures d'angle très imparfaites, et sont douteuses (*fig.* 5).

Anorthique.

$a : b : c = 1.2182 : 1 : 1.4551$

$\alpha = 90° 27'$
$\beta = 116° 43'$
$\gamma = 126° 51'$

		Calculé	Mesuré
	mt $(1\bar{1}0)$ (110)	83° 58′	83° 52′
	tg^1 (110) (010)	Fond.	*154° 38′
	mg^1 $(1\bar{1}0)$ $(0\bar{1}0)$	Fond.	*121° 24′
	pg^1 (001) (010)	109° 4′	109° 7′ (app.)
	pe^1 (001) $(0\bar{1}1)$	Fond.	*111° 27′
	e^1g^1 $(01\bar{1})$ (010)	139° 29′	139° 31′
	pm (001) $(1\bar{1}0)$	Fond.	*101° 6′
	pd^1 (001) $(1\bar{1}2)$	151° 34′	»
(?)	$pd^{1/2}$ (001) $(1\bar{1}1)$	135° 37′	134° 37′ (app.)
	pt (001) (110)	Fond.	*118° 30′
(?)	pf^3 (001) (116)	163° 6′	164° 0′ (app.)
	me^1 $(1\bar{1}0)$ $(0\bar{1}1)$	130° 12′	130° 19′
	te^1 (110) $(01\bar{1})$	124° 11′	124° 19′

Sur un silicate de lithium cristallisé.

Par M. G. FRIEDEL.

MM. Hautefeuille et Margottet ont décrit, en 1881 (1), plusieurs silicates de lithium cristallisés obtenus par fusion de leurs éléments dans le chlorure de lithium. Divers essais que j'avais entrepris pour parvenir à la synthèse par voie humide des silico-aluminates de lithium, bien que restés infructueux à ce point de vue, m'ont conduit à reproduire un silicate de lithium intéressant par sa forme cristalline et à compléter ou rectifier sur certains points les observations de MM. Hautefeuille et Margottet. J'ajouterai que ce qui me décide à publier ces observations, déjà anciennes, est la lecture de l'intéressant mémoire de M. Wyrouboff sur les oxalates (2) et des considérations qui y sont exposées touchant l'isomorphisme possible de composés chimiquement dissemblables ainsi que le peu d'analogies existant entre le lithium et les métaux alcalins. Mes observations tendent tout à fait aux mêmes conclusions.

J'avais essayé autrefois d'attaquer la muscovite par une solution de lithine caustique vers 500°, en vase clos. Dans ces conditions, une solution à 5 0/0 de lithine a attaqué le mica d'une manière complète en vingt heures, bien plus activement que ne font la potasse ou la soude; mais, contrairement à ce qui a lieu avec ces alcalis, le produit obtenu était entièrement amorphe.

Le lépidolithe de Rozena, au contraire, attaqué par des solutions à 3 et 6 0/0 de lithine, n'est décomposé que très

(1) *C. R. Ac. Sc.*, t. XCIII, p. 686; 1881.
(2) *Bull. S. M.*, t. XXIII, p. 65; 1900.

lentement et incomplètement, même lorsqu'il est réduit en poussière impalpable, et ne donne, en trente-huit heures, qu'une faible proportion de cristaux de diverses natures. En premier lieu de gros prismes rhomboédriques d'un silicate de lithium qui sera décrit tout à l'heure ; des cubes de fluorure de lithium, aisément caractérisés par l'essai microchimique ; enfin deux substances cristallisées en quantité trop faible pour que l'étude chimique ait pu en être faite. L'une, en longues baguettes cristallines opaques, à reflets bronzés, fond assez difficilement en une masse bulleuse sans colorer la flamme, est attaquée à froid par HCl en fournissant une solution jaune verdâtre qui ne donne aucune réaction par l'ammoniaque, et présente cette curieuse particularité d'avoir une forme très voisine de celle de l'épidote. Il m'a été impossible d'en pousser plus loin l'étude chimique.

Par contre, la soude attaque le lépidolithe complètement et rapidement, en donnant non pas un silico-aluminate lithinifère, mais le même silicate de lithium rhomboédrique *complètement exempt d'autres bases*, des cubes de fluorure de lithium, et de la néphéline à base de soude et de potasse, *exempte de lithium*. En fait, la soude employée étant un peu carbonatée, il s'est produit en même temps que la néphéline de beaux cristaux de la cancrinite déjà décrite autrefois, également *exempts de lithium*.

Ainsi chaque mica est attaqué avec beaucoup d'énergie par les alcalis qu'il ne contient pas, bien plus lentement par celui qui domine dans sa constitution. Les solutions de lithine attaquent avec facilité la muscovite et sont très peu actives vis-à-vis du lépidolithe. Les solutions de soude attaquent encore assez activement la muscovite, les solutions de potasse beaucoup moins, et toutes deux, la soude surtout, détruisent rapidement le lépidolithe.

De plus la lithine se comporte dans ces réactions tout autrement que les alcalis. Elle n'a aucune tendance à se combiner à l'alumine dans ces conditions sous forme de silico-aluminates. Tant qu'il n'y a, comme dans la muscovite, que 2 molécules de silice pour une d'alumine, la lithine ne fournit aucun silicate cristallisé ; si la soude ou la potasse sont présentes en suffisante quantité, toute la silice est employée avec l'alumine à former de la néphéline ou des minéraux connexes. Mais s'il y a un excès de silice, la lithine s'en empare pour former un silicate de lithium, et même en présence d'un grand excès de l'un ou l'autre alcalis, il n'entre pas de traces sensibles de lithium dans les silico-aluminates, non plus que de soude ou de potasse dans le silicate de lithium.

Il y a là une nouvelle confirmation de la dissemblance entre le lithium et les métaux alcalins.

Afin d'étudier le silicate, j'en ai préparé directement en chauffant vers 500° une solution de lithine avec un excès de silice précipitée. Les cristaux ont ensuite été triés à la main. Des essais de synthèse tendant à réaliser l'attaque de la muscovite en présence de lithine et d'un excès de silice ont fourni les mêmes cristaux en abondance, la muscovite restant intacte et ne jouant aucun rôle.

Le silicate est anhydre. Chauffé un peu au-dessous du rouge, il décrépite sans dégager d'eau ; après refroidissement, même chauffé au rouge, il n'a subi aucun changement dans ses propriétés optiques. L'eau bouillante le décompose lentement, l'eau froide à peine sensiblement; l'acide chlorhydrique étendu l'attaque rapidement en laissant un résidu de silice qui garde d'abord la forme des cristaux, puis se désagrège à la longue.

A l'analyse, on ne trouve que de la silice et de la lithine, sans qu'une recherche attentive y fasse découvrir la moindre

trace d'autres bases. On a dosé (moyenne de plusieurs essais concordants) :

SiO^2......... 67,1 0/0
Li^2O......... 32,9

C'est donc un *bisilicate* SiO^3Li^2.

Cette composition chimique donne un intérêt tout particulier à l'étude cristallographique du composé : il présente, en effet, cette particularité inattendue d'être, au point de vue cristallographique, presque identique à la *phénakite*, qui est un *orthosilicate*.

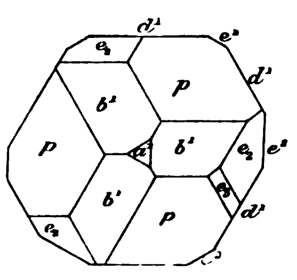


FIG. 1.

Les cristaux, parfaitement incolores et transparents, d'un vif éclat et le plus souvent limités par de nombreuses facettes, appartiennent au système ternaire (*fig.* 1). Ils s'allongent toujours en prismes, et montrent presque dans chaque opération de synthèse des combinaisons de formes différentes. Ils n'ont pas de clivage observable. La forme dominante est un rhomboèdre de 116° 7′, que j'ai pris pour primitif. Il n'est presque jamais absent. On observe, en outre, toujours l'un des deux prismes d^1 ou e^2 (ce dernier généralement moins développé) ou les deux ensemble. Puis le rhomboèdre b^1 très fréquent. La phénakite, dont le primitif est de 116° 36′, présente précisément cette combinaison

comme l'une des plus communes. La base a^1 existe, mais petite et rare. Mais on rencontre fréquemment le scalénoèdre $(d^1 d^{1/2} b^1)$ ou e_2 de la phénakite (noté *w* par Des Cloizeaux) et parfois l'isoscéloèdre $(d^1 d^{1/3} b^1)$ ou e_3 du même minéral (noté *y* par D. C). D'autres faces trop petites n'ont pu être mesurées, les prismes atteignant parfois 2 millimètres de longueur, mais restant toujours étroits. La face e_2 s'est toujours montrée régulièrement hémièdre à faces parallèles, décelant ainsi la même symétrie que dans la phénakite. L'identité géométrique est complète entre les deux espèces.

La densité, prise au moyen d'une liqueur lourde, est de 2,529 à 15°. En lumière polarisée, les cristaux se montrent uniaxes positifs, comme la phénakite, avec un indice minimum de 1,65 environ (phénakite 1,65) et une biréfringence de 0,020 (phénakite 0,015 à 0,016). L'identité presque absolue se conserve jusque dans les propriétés optiques.

Le silicate de lithium et la phénakite ont, en résumé, même système de cristallisation, même hémiédrie, même paramètre, mêmes formes simples habituelles, parmi lesquelles des formes relativement peu communes, comme e_2 et e_3, même absence de clivages, même signe optique, indice et biréfringence même presque identiques. Seule la densité est différente; encore les volumes moléculaires sont-ils presque les mêmes (phénakite, 37; silicate de lithium, 35,6). Une telle identité, rare même parmi les composés capables de syncristallisation, peut difficilement passer pour un effet du hasard. Peut-elle être interprétée dans l'état actuel de nos connaissances? Ce que l'on sait sur les zéolithes et, depuis les recherches de M. Wyrouboff, sur les oxalates, me porte à le croire.

Puisque parmi les silicates (et les oxalates) on connaît aujourd'hui des corps cristallisés qui, en perdant tout ou

partie de leur eau, ne changent ni de forme cristalline ni de propriétés optiques; puisque deux composés comme la leucite et l'analcime, dont la formule est la même (1), abstraction faite de l'eau, mais dont l'un est anhydre et l'autre contient 2 molécules d'eau dont le départ laisse le réseau intact, sont aussi identiques entre eux cristallographiquement que le sont la phénakite et le silicate de lithium en question, on est obligé de conclure qu'il existe dans ces composés un mode de combinaison de l'eau tout particulier, tel que la molécule d'eau n'intervient pas dans la détermination du réseau cristallin. Le mode de dissociation spécial de ces corps démontre que, partiellement déshydratés, ils se comportent comme *homogènes*, et que l'eau restante n'est pas combinée à telle molécule de silicate plutôt qu'à telle autre, mais est à l'état de *dissolution*, d'imprégnation dans le corps solide. M. Wyrouboff néglige évidemment cette observation quand il dit (2) : « Cette eau est incontestablement chimique, puisqu'elle est en proportions définies et ne se distingue pas en somme d'une manière essentielle de toute autre eau de cristallisation. » Ce n'est pas être en proportions définies que de varier d'une manière quelconque entre zéro et une proportion maximum plus ou moins définie sans que le composé cesse de garder toutes ses propriétés, sans que les cristaux soient détruits; et quant à la distinction d'avec l'eau *de cristallisation* proprement dite, elle est établie d'une manière aussi nette que possible par cette propriété même de n'intervenir en aucune façon dans la cristallisation, et plus encore par le mode de dissociation, qui est celui d'un système homogène et non celui d'un système hétérogène (la tension est fonction de la température et de la proportion d'eau restante, et non pas seulement de la température).

(1) On peut ajouter aussi le Pollux.
(2) *Loc. cit.*, p. 138.

En laissant donc de côté toute discussion, forcément stérile, sur les épithètes « physique » ou « chimique » appliquées aux forces qui retiennent l'eau dans les composés en question, je crois que l'on ne peut mieux se représenter une zéolithe (ainsi d'ailleurs que d'autres silicates et probablement certains oxalates) que comme une matière poreuse, mais dont les pores sont excessivement fins et déterminés par la structure réticulaire elle-même. L'eau *mobile* pénètre dans ces pores et s'y répartit d'une manière *homogène*, même dans l'état de déshydratation partielle. Elle imbibe une éponge, suivant l'expression déjà ancienne de Mallard. Son remplacement par n'importe quel autre gaz ou liquide en serait à lui seul une preuve suffisante. Il est clair d'ailleurs que dans l'état de saturation, qui est atteint par exemple pour l'amalcine dans les conditions ordinaires de température et de pression, si les dimensions des vides sont de l'ordre de grandeur des molécules, la proportion d'eau *limite* peut être une proportion moléculaire simple.

Quoique l'on puisse penser à ce sujet (et je ne donne ce qui précède que comme une représentation peut-être grossière des faits connus, mais qui a l'avantage de les embrasser tous) on ne peut se refuser à reconnaître qu'il existe pour l'eau un mode de combinaison telle qu'elle n'intervient pas dans la détermination de la stabilité du réseau, et que deux corps peuvent être parfaitement isomorphes, bien que l'un contienne de cette eau *mobile* et que l'autre en contienne moins ou pas du tout.

Or quelles raisons avons-nous de croire qu'un tel rôle soit exclusivement dévolu à l'eau? La seule évidemment réside dans la facilité avec laquelle l'élimination de l'eau sous la simple action de la chaleur nous permet de constater le fait pour ce corps. J'ai montré que des fluides quelconques pouvaient remplacer l'eau des zéolithes. Mais s'il s'agit

d'une molécule solide, comment constater ce mode spécial de combinaison? Et n'est-il pas cependant bien vraisemblable que l'éponge zéolithique, capable d'absorber des solutions salines qui peuvent réagir dans sa masse, peut aussi bien, au moment de la cristallisation ou après, s'imprégner d'un élément fixe que d'un élément volatil? J'ai fait voir d'ailleurs qu'on peut, par l'intermédiaire de composés volatils ou solubles, introduire une certaine quantité de silice sans rien changer à l'état cristallin d'une zéolithe; cette silice s'y trouve distribuée évidemment comme l'eau *mobile* qu'elle remplace.

Il est aussi bien remarquable que ce soient les zéolithes, dont la teneur si variable en eau, pour la plupart des espèces, s'explique si bien par le mode de combinaison spécial de cette eau, qui de tous les silicates soient aussi ceux qui présentent le plus nettement peut-être des teneurs en silice variables et incompatibles avec la loi des proportions définies. Pour faire rentrer de force ces composés dans les lois habituelles de la chimie, le procédé actuellement en faveur consiste à imaginer des mélanges de deux et même trois silicates différents, souvent inconnus à l'état libre, et dont on n'est conduit à concevoir l'existence que par suite du désir de faire rentrer toutes les analyses dans une formule générale. Quand on va jusqu'à admettre des mélanges de trois silicates différents, comme on l'a fait pour certaines espèces, on peut évidemment toujours établir les coefficients de façon à satisfaire à plusieurs analyses sinon exactement, du moins mieux qu'avec les anciennes formules approximatives. Celles-ci étaient un aveu d'ignorance infiniment plus scientifique que ce stérile jeu de formules, dont le seul effet peut être de retarder les premiers pas, qui sont encore à faire, dans la voie de la connaissance chimique des silicates. Il faut donc, je pense, en revenir aux données de l'observation et

de l'expérience, et puisqu'on connaît en toute certitude pour les silicates des cas où, comme dans les zéolithes, la loi des proportions définies n'est pas applicable, ne pas persister à faire de cette loi et de l'idée de molécule telle qu'elle en dérive la base *unique* de nos recherches.

Je ne pense pas qu'il y ait la moindre difficulté réelle à admettre, si cela peut servir à interpréter un grand nombre de faits, que la silice puisse jouer dans certains silicates le même rôle que l'eau dans les zéolithes. Cette silice qui, dans l'attaque par les acides étendus de certaines zéolithes comme dans celle du silicate de lithium, garde la forme des cristaux et conserve même parfois encore une certaine biréfringence, comme si elle moulait le réseau disparu, répond bien à ce caractère. L'exemple le plus remarquable d'isomorphisme avec formules différant uniquement par les quantités de silice, celui des feldspaths plagioclases, s'interpréterait ainsi d'une manière qui concilie la vieille notion d'isomorphisme, impliquant la détermination du réseau par des molécules identiques, avec la doctrine de Tschermak. La parenté est si proche, d'ailleurs, entre les feldspaths ou les feldspathides et les zéolithes, que l'addition de silice indépendante de la molécule dans les uns n'est pas plus difficile à admettre que celle, bien démontrée, de l'eau dans les autres. On peut ainsi très probablement considérer tous ces silico-aluminates alcalins comme formant un seul et même groupe dont la véritable molécule fondamentale est $2SiO^2,Al^2O^3,RO$, avec addition d'eau ou de silice *zéolithiques* (l'expression « mobile » s'appliquant mal à la silice).

On remarquera que, dans tous les cas jusqu'ici connus d'isomorphisme bien caractérisé avec formules différentes, les deux formules ne diffèrent toujours que par une certaine quantité d'un composé saturé complet, et d'un composé neutre susceptible d'exister isolément dans la nature,

comme l'eau, la silice, l'alumine dans les pyroxènes et amphiboles.

Si l'on admet cette manière de voir, la dissemblance des formules brutes de la phénakite et du silicate de lithium paraît moins étrange. Elle est du même ordre que celle qui existe entre l'albite et l'anorthite ou entre la leucite et l'analcime. Le silicate de lithium serait un orthosilicate avec à peu près 1 molécule de silice *zéolithique* (1).

Si d'ailleurs ces considérations peuvent paraître un peu hardies et encore insuffisamment étayées, je pense qu'il y a quelque intérêt à se rendre compte que, dans tous les cas, si les conclusions ne sont pas vraies, elles sont du moins possibles, que pas un seul fait d'expérience ou d'observation ne vient à leur encontre, et que, par conséquent, les connaissances que nous sommes censés avoir aujourd'hui sur la chimie des silicates, les formules de constitution que l'on attribue généreusement à ces composés, la classification même des silicates les plus simples suivant les hydrates siliciques auxquels ils se rattacheraient, reposent sur des bases bien fragiles et sur l'assimilation beaucoup trop hâtive des silicates aux combinaisons organiques, dont la valence des atomes paraît suffire à rendre compte.

Dans l'espoir de mieux préciser les relations existantes entre le silicate de lithium et la phénakite, j'ai tenté divers essais tendant à en réaliser le mélange isomorphe, ou à obtenir des silicates de lithium ou de glucinium intermédiaires entre l'ortho et le bisilicate. J'étais encouragé dans cette dernière recherche par un ancien résultat de H. Sainte-Claire Deville (*C. R.*, 1861, p. 780). Ayant chauffé de la

(1) De même que le Pollux est une leucite à base de caesium avec à peu près une molécule de silice et d'eau zéolithiques, et l'analcime une leucite avec à peu près deux molécules d'eau zéolithiques (exactement deux à l'état saturé).

glucine dans un courant de fluorure de silicium, il avait obtenu de beaux cristaux dont il n'indique pas la forme, mais auxquels d'après, son analyse, on devrait attribuer la formule $9SiO^2,11GlO$. Je refis donc l'expérience et obtins des cristaux ternaires, petits mais parfaitement formés, uniaxes positifs, de biréfringence 0,015 environ, de forme identique à celle de la phénakite. Si l'analyse citée par Sainte-Claire Deville était exacte, j'avais affaire à une phénakite enrichie en silice, comparable au silicate de lithium. En fait, l'analyse m'a donné des résultats tout différents. Bien que sous le microscope la matière se montre absolument pure et composée des mêmes cristaux, les liqueurs lourdes la séparent en portions de densités très différentes. La densité varie d'une manière continue de 2,939 à 2,585 à 15°. Mais les portions légères sont peu abondantes, et en fait je n'ai pu séparer pour l'analyse, en quantités suffisantes, que deux parties : l'une dont la densité va de 2,939 à 2,872, soit en moyenne 2,905, et l'autre dont la densité va de 2,872 à 2,777, en moyenne 2,825. Le résidu léger était encore formé entièrement des mêmes cristaux, sans qu'aucune inclusion gazeuse visible pût expliquer leur légèreté. Il y a une faible différence de biréfringence entre les diverses parties séparées : les cristaux les plus lourds vont de 0,015 à 0,016, les plus légers descendent à 0,013. L'analyse, à mon grand étonnement, ne montra que de faibles différences de teneurs en silice entre les deux portions de densité moyenne 2,905 et 2,825. Elles contiennent :

Densité moyenne.....	2,905	2,825
SiO^2...............	53,08	54,20
GlO...............	46,89	45,82
	99,97	100,02

ce qui correspond, non pas à un excès de silice dans les parties légères, mais à un excès de glucine dans les parties lourdes. La partie légère analysée correspond, en effet, exactement à la formule $SiO^2,2GlO$, et la partie lourde à SiO^2, 2,11 GlO. C'est donc bien de la phénakite que fournit l'opération de Sainte-Claire-Deville, et une phénakite parfaitement cristallisée et pure ; malgré cela, sa densité varie entre de larges limites, et sa composition elle-même n'est qu'à peu près constante.

N'ayant pas obtenu nettement ce que j'espérais de ce côté, je tentai d'appliquer la méthode de MM. Hautefeuille et Margottet. Je reproduisis d'abord aisément, par fusion du silicate amorphe avec le chlorure de lithium, le silicate de formule SiO^2,Li^2O obtenu par ces auteurs, et que, d'après une simple mesure d'angle, ils avaient considéré comme orthorhombique et pseudo-hexagonal. En fait, ce silicate est identique à celui que j'ai obtenu par voie humide. L'analyse donne 66,5 0/0 de silice et 33,2 0/0 de lithine; la formule est donc bien SiO^2,Li^2O. Mais la forme est ternaire : le prisme, assez mal formé, donne de médiocres mesures d'angles, qui expliquent l'erreur des précédents auteurs; mais les propriétés optiques sont celles des substances uniaxes positives, la biréfringence est celle du silicate décrit ci-dessus, l'identité avec ce dernier est complète.

J'ai tenté ensuite de reproduire par le même procédé le silicate de formule $SiO^2,2Li^2O$ que MM. Hautefeuille et Margottet ont décrit en même temps que le précédent. Ce nouveau silicate serait, d'après eux, également orthorhombique et pseudo-hexagonal, assez peu fusible, peu attaqué par l'eau chaude, rapidement détruit par HCl : la description, en somme, ne diffère pas de celle du premier silicate, et je pouvais compter, par conséquent, obtenir un orthosi-

licate de lithium dont la comparaison avec la phénakite devait être très intéressante. Malgré de très nombreux essais dans toutes les conditions imaginables, je ne suis pas parvenu à obtenir ce silicate cristallisé. Quand on fait dissoudre dans le chlorure fondu un silicate amorphe préalablement préparé par fusion et ayant cette composition, la cristallisation se fait moins facilement et moins abondamment qu'avec le bisilicate, mais on obtient néanmoins des cristaux très bien formés; leur forme est encore ternaire; ils sont uniaxes positifs, avec une biréfringence égale à 0,020 et une densité de 2,501 à 23°; à l'analyse, on y trouve 65,2 0/0 de silice et 34,5 0/0 de lithine. Les cristaux sont courts, au lieu de former de longues baguettes comme cela a lieu lorsque la cristallisation est plus abondante. Ils portent le prisme d^1 et un isoscéloèdre qui, si on le rapporte au primitif du silicate décrit ci-dessus, se note (3, 3, $\bar{6}$, 4) en coordonnées sénaires. Ces cristaux appartiennent donc au silicate SiO^2,Li^2O, contenant un très petit excès de lithine et un peu plus léger que le silicate obtenu par voie humide. Bien qu'en pareil cas on ne puisse rien affirmer, il ne me paraît guère douteux que quelque erreur d'analyse ait trompé MM. Hautefeuille et Margottet et leur ait fait prendre pour deux silicates distincts les cristaux en prismes hexagonaux, assez différents d'aspect, que fournissent les deux opérations telles qu'ils les ont décrites.

Ici encore, par conséquent, il m'a été impossible de préparer soit un orthosilicate de lithium, soit un intermédiaire entre l'ortho et le bisilicate. Toutefois j'ai observé ici aussi, comme pour le silicate de glucinium, la possibilité de l'existence d'un excès de base appréciable (la formule serait SiO^2, 1,06 Li^2O pour le dernier essai cité ci-dessus), et de variations peu importantes il est vrai, de la densité (de 2,529 à 2,501 pour le même silicate).

Je n'étais donc pas parvenu par ces procédés et malgré l'espoir que devaient donner les anciennes observations, malheureusement inexactes, à obtenir avec la glucine autre chose que l'orthosilicate ni avec la lithine autre chose que le bisilicate. Toutefois les singulières variations de la densité, surtout dans la phénakite, et l'indétermination notable correspondante de la composition chimique m'engagèrent à poursuivre la recherche. J'essayai d'obtenir la cristallisation simultanée des deux silicates afin de confirmer leur isomorphisme.

La voie humide donna des résultats négatifs. De la silice amorphe et de la glucine furent chauffées dans différentes conditions en présence de solutions de lithine et d'un peu de soude, vers 500° en vase clos. On obtint toujours des cristaux du silicate de lithium, et dans l'une des opérations, à côté de ceux-ci, de très petits cristaux parfaitement formés de phénakite : ce sont de petits prismes très courts surmontés d'une double pyramide hexagonale aiguë. Le signe optique est positif; la biréfringence, difficile à mesurer à cause de la faible épaisseur, est entre 0,013 et 0,016, nettement supérieure à celle du quartz. La densité est très supérieure à celle de petites lames de calcite qui s'étaient produites dans l'opération aux dépens d'impuretés de la matière, de telle façon que les petits cristaux vont immédiatement au fond d'une liqueur sur laquelle surnage la calcite; les cristaux sont inattaquables aux acides; enfin les mêmes cristaux ont été obtenus, toujours avec la même forme, et en petite quantité, en chauffant la silice et la glucine avec une solution de soude à 10 0/0. Il n'y a donc pas de doute quant à la nature de ces cristaux, qui sont de la phénakite ainsi reproduite d'ailleurs pour la première fois par voie humide.

Ainsi par voie humide la phénakite et le silicate de

lithium cristallisent en cristaux distincts. Il n'y a pas là une preuve que le mélange isomorphe soit impossible, car, dans les nombreux essais du même genre entrepris sur les feldspaths l'anorthite et l'albite se sont toujours comportées de la même façon. J'ai donc cherché à opérer par voie sèche, en suivant une méthode inspirée de celle de MM. Hautefeuille et Margottet.

Un mélange de silice, de glucine et de lithine en proportions convenables pour réaliser la formule $SiO^2,2GlO + 2(SiO^2,Li^2O)$ fond facilement en un verre homogène. Mais, contrairement à ce qui a lieu pour le silicate de lithium seul, ce verre est insoluble dans le chlorure de lithium fondu. Par contre le fluorure de lithium fondu le dissout aisément, mais je n'ai pu réussir, même par un refroidissement très lent ou par un recuit prolongé, à obtenir la moindre cristallisation. Au contraire un mélange de fluorure de lithium et de fluorure de glucinium correspondant à la formule $2LiF + GLF^2$ dissout rapidement au rouge le silicate double amorphe et, malgré une volatilisation active du fluorure de glucinium qui empêche de prolonger l'opération bien longtemps, fournit après refroidissement une masse contenant de beaux cristaux. La gangue de fluorures est éliminée au moyen de l'eau faiblement acidulée de HCl, et il reste une poudre brillante de petits cristaux bien formés, dont beaucoup sont mesurables au goniomètre.

Au microscope, on distingue immédiatement deux sortes de cristaux : du *quartz* (1) en prismes courts bipyramidés, peu abondants, et surtout des cristaux ternaires semblables à ceux de la phénakite et du silicate de lithium (*fig.* 2). Ils portent le prisme e^2 et le rhomboèdre b^1 bien développés, avec l'isoscéloèdre $(5.\ 2.\ \bar{1})$ parahémièdre et le rhom-

(1) Déjà obtenu par MM. Hautefeuille et Margottet dans des conditions analogues.

boèdre (4. 1. 1) ou a^4 (forme birhomboédrique de b^1). Le signe optique est positif, la biréfringence comprise entre 0,015 et 0,016 (la meilleure mesure a donné 0,0157). A première vue on croirait que tous les cristaux autres que le quartz sont identiques entre eux.

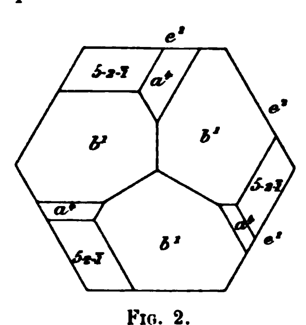


Fig. 2.

En réalité, on retrouve dans la séparation par les liqueurs lourdes les mêmes différences de densité que pour la phénakite obtenue par le procédé Deville. Les cristaux les plus lourds ont une densité de 2,94 (2,944 à 13° dans une opération ; 2,934 à 16°,5 dans une autre).Les plus légers, complètement identiques aux premiers par leurs autres caractères, descendaient dans une opération à 2,667 à 10°5, dans une autre à 2,584 à 13°, Il est impossible de séparer les cristaux les plus légers du quartz. Entre ces deux extrêmes, il y a des cristaux de toutes les densités intermédiaires. On a séparé ainsi quatre portions allant : la première de 2,934 à 2,879 (moyenne 2,907), la seconde de 2,879 à 2,831 (moyenne 2,855), la troisième de 2,831 à 2,766 (moyenne 2,798), la quatrième et dernière de 2,766 à 2,667 (moyenne 2,716). Les deux premières étaient complètement exemptes de quartz, la troisième en contenait une quantité négligeable sous forme de rares cristaux accolés à ceux du silicate, la dernière contenait beaucoup

de quartz (environ moitié). L'analyse des portions légères, malgré la présence du quartz qui masque la teneur en silice du silicate, est du plus grand intérêt. On a dosé en effet :

Densité moyenne...	2,907	2,855	2,716
GlO...............	43,06 0/0	36,63 0/0	9,55 0/0
Li^2O..............	0,78	1,02	5,82
SiO^2 (par différence).	56,16	62,35	84,63

Les deux premières analyses laisseraient encore subsister un doute au sujet du mélange isomorphe des deux silicates, la quantité de lithine étant assez faible pour s'expliquer au besoin par l'existence d'inclusions. Il n'en est pas de même de la troisième, dans laquelle ce mélange apparaît avec certitude. Le silicate de lithium pur étant très facilement attaqué par HCl étendu a forcément été éliminé lors de l'attaque de la masse fondue de fluorures. C'est pourquoi on ne le retrouve pas isolé. Mais ce qui reste est formé de tous les mélanges du silicate de lithium avec le silicate de glucinium, depuis la phénakite pure jusqu'au silicate contenant exactement 2 molécules de glucine pour une de lithine, dont la dernière analyse révèle l'existence sans malheureusement en faire connaître la teneur en silice. C'est à cette limite que le mélange des deux silicates devient attaquable aux acides étendus.

Toutefois, en l'absence d'analyses plus nombreuses, il reste possible que le mélange ne se fasse pas en réalité en toutes proportions et que la petite quantité de lithine des deux premières portions soit due à la séparation imparfaite par la liqueur lourde de la phénakite et d'un silicate double à proportions définies $2SiO^2$, $2GlO,Li^2O$, qui existerait seul avec le quartz dans la dernière portion. L'examen le plus détaillé au microscope ne permettant de

faire aucune distinction entre les cristaux des diverses parties séparées, la question reste douteuse. Au surplus, elle est accessoire. Mélange isomorphe ou mélange à proportions définies, le silicate double existe, et a exactement les propriétés cristallographiques des deux silicates simples. Le cas se rapproche tout à fait de celui des feldspaths plagioclases.

Je ferai observer, en outre, que, dans les deux premières analyses, malgré l'absence bien constatée du quartz, facile à distinguer, la silice est en excès par rapport à la quantité calculée en admettant que la glucine soit sous forme d'orthosilicate et la lithine sous forme de bisilicate. Dans la première la formule serait $1,05 SiO^2$ pour 1 de $2GlO$ ou de Li^2O ; dans la seconde, $1,35 SiO^2$ pour 1 de $2GlO$ ou de Li^2O. L'orthosilicate de glucinium paraît donc susceptible de se surcharger de silice tout comme celui de lithium, ou bien celui de lithium de prendre plus d'une molécule de silice interposée. Dans l'un et l'autre cas on ne peut y voir qu'une nouvelle confirmation de l'existence de cette silice que je propose d'appeler *zéolithique*, non moléculairement combinée et non soumise à la loi des proportions définies.

J'ajouterai que j'ai cherché une confirmation de l'existence de silice libre dans le silicate de lithium, en dosant la proportion de silice qui reste à l'état de squelettes de cristaux dans l'attaque par les acides étendus. Cette recherche n'a donné aucun résultat, la quantité de silice qui reste insoluble dépendant surtout de la dimension des cristaux : Les gros cristaux laissent comme résidu plus de la moitié de leur silice ; les mêmes, finement pulvérisés, se dissolvent entièrement, quelle que soit la concentration de l'acide. Si donc la production de silice lourde, pulvérulente ou gardant la forme des cristaux, paraît être un indice de l'existence de silice zéolithique dans les silicates attaquables, cette silice

est cependant capable de se dissoudre ou de retenir une partie de la silice réellement combinée, et ne peut être dosée par ce moyen. Des résultats négatifs analogues ont été obtenus avec plusieurs zéolithes.

Étude sur la forme primitive des corps cristallisés et sur la symétrie apparente.

Par Fred. WALLERANT.

HISTORIQUE.

Lorsque, au commencement du siècle, Haüy publia sa théorie des formes primitives, qui, avec la loi de symétrie et la loi des indices rationnels, devait servir de base à la cristallographie, elle ne reçut pas des minéralogistes contemporains l'accueil qu'il était en droit d'en attendre. Les résultats furent très discutés, principalement par les auteurs allemands qui les rejetèrent en entier, ou ne les admirent que partiellement. On discuta surtout sur le nombre des formes primitives, autrement dit sur le nombre des systèmes cristallins qu'il fallait admettre, et l'on peut dire que chaque minéralogiste arriva à ce sujet à des conclusions différentes. Cette indécision dans le nombre des systèmes cristallins devait naturellement amener certains minéralogistes à se demander s'il existait une différence absolue entre les différents systèmes et s'il n'était pas possible de déduire toutes les formes cristallines d'une même forme primitive. Haussmann et Breithaupt se posèrent simultanément cette question, le premier dans son *Handbuch der Mineralogie*, 1828, le second dans un article publié dans le tome XX du *Jahrbuch der Chemie*

und der Physik, 1827 (1). Tous deux montrèrent comment, d'après eux, on pouvait déduire toutes les formes cristallines du rhombododécaèdre ; mais Breithaupt seul développa son idée sous le nom de ***théorie des progressions***, dans un second article du tome XXIV du même journal, en 1828. La seule raison qu'il donne pour appuyer son opinion, raison d'un grand poids, d'ailleurs, c'est que des minéraux appartenant à des systèmes différents, comme le mica et le fer oxydulé, la scheelite et la fluorine, etc., s'associent de façon à présenter une orientation relative, parfaitement déterminée ; ce qui ne peut s'expliquer que par l'existence de rapports étroits dans leurs propriétés cristallographiques.

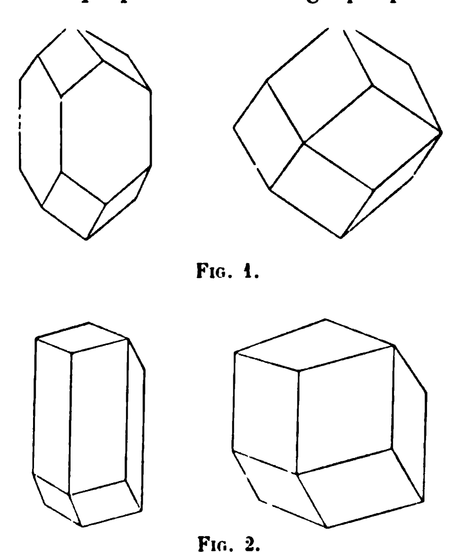


Fig. 1.

Fig. 2.

Sa théorie repose sur les remarques suivantes : un rhombododécaèdre peut être considéré comme résultant de la superposition de plusieurs formes. On peut le considérer comme

(1) Je dois ce renseignement à l'obligeance de M. Termier.

résultant de la superposition d'un octaèdre et d'un prisme quadratique (*fig.* 1) ou bien d'un rhomboèdre de 120° et d'un prisme hexagonal (*fig.* 2); et ces formes peuvent être à leur tour considérées comme résultant de formes plus simples. Dans un cristal cubique, ces formes coexistent; dans les autres systèmes, elles se produisent indépendamment les unes des autres.

Mais les formes déduites du rhombododécaèdre ont des angles parfaitement déterminés, comment peut-on, par la méthode des troncatures, en faire découler les formes d'angles si variés, observées dans les cristaux : comment peut-on, par exemple, en partant du rhomboèdre de 120°, obtenir le rhomboèdre de 105° 5′ de la calcite? Pour répondre à cette nécessité, Breithaupt rejette la loi ou plutôt la règle de la simplicité des indices, et montre qu'au moyen d'une troncature ayant pour indices $\frac{1003}{720}$, on peut déduire le rhomboèdre de 105° 5′ de celui de 120°.

Il donne, en effet, à tous ses rapports le dénominateur commun de 720, parce que, dit-il, les nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6 étant ceux que l'on obtient le plus souvent pour indices des faces, l'axe du rhombododécaèdre est probablement divisé par les éléments constituants en un nombre de parties, égale à $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 = 720$.

Une troncature intercepte sur l'axe un nombre entier de ces parties, ce qui entraine la rationnalité des indices. Mais il est bien évident que si ces indices peuvent être des nombres aussi élevés que 720, on n'a plus aucune raison pour admettre qu'ils sont rationnels.

La théorie de Breithaupt est passée complètement inaperçue, car il n'en est fait aucune mention dans les ouvrages de minéralogie, et c'est seulement en 1884 que la question fut reprise par Mallard, dans le plus remarquable peut-être de

ces mémoires, intitulé : *Sur la quasi-identité vraisemblable de l'arrangement moléculaire dans toutes les substances cristallisées*, et inséré dans le tome VII du ***Bulletin de la Société minéralogique de France***.

Partant de ce fait, admis depuis longtemps par les physiciens, que tous les cristaux sont sensiblement isotropes, c'est-à-dire diffèrent fort peu, au point de vue physique, d'un cristal cubique, Mallard s'est proposé de montrer que les paramètres de tous les corps cristallisés différaient peu des paramètres d'un cristal cubique.

La mesure des angles d'un cristal ne nous donne pas, en effet, les paramètres eux-mêmes, mais des multiples ou sous-multiples de ces paramètres ; Mallard a donc établi que, en multipliant les paramètres d'un cristal par des coefficients compris parmi les rapports des quatre nombres 1, 2, 3, 4, on reproduisait sensiblement les paramètres d'un cristal cubique.

Malheureusement, quoique le principe fût certainement exact, la méthode n'était pas démonstrative : il ne faut pas oublier que les paramètres des cristaux sont des nombres du même ordre de grandeur, compris à peu près entre 0,3 et 3, et que, par suite, si l'on a à sa disposition un nombre de coefficients aussi grand que ceux compris dans la suite des rapports des quatre nombres 1, 2, 3, 4, on peut toujours faire en sorte qu'un paramètre d'un cristal devienne sensiblement égal à un paramètre d'un autre cristal. Le plus souvent on peut, par cette méthode, assimiler de plusieurs façons les paramètres d'un cristal à ceux d'un cube.

Considérons, par exemple, l'Aragonite ; ses paramètres sont :

$$0,622444 : 1 : 0,72056$$

ou en prenant le premier paramètre pour unité, on obtient :

$$1,6066 : 1 : 1,1576,$$

se rapprochant beaucoup respectivement de :

$$\frac{\sqrt{6}}{\sqrt{2}} : 1 : \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}.$$

Mais si, d'autre part, on prend le dernier paramètre pour unité après avoir multiplié le premier par 2, on obtient :

$$1,72764 : 1 : 1,388,$$

qui ne diffèrent pas plus des paramètres cubiques que les premiers nombres donnés. Cependant, d'après tous les caractères de l'Aragonite, c'est la première solution qui est la bonne. Comme on le voit, la méthode de Mallard a l'inconvénient de fournir plusieurs solutions sans permettre de distinguer les solutions étrangères.

Mais, si Mallard manquait d'un critérium qui lui eût permis d'éviter quelques erreurs, son principe n'en est pas moins exact, et l'on doit considérer les paramètres des cristaux comme ne différant que peu de ceux d'un cristal cubique. Il semblerait donc que la question soit épuisée, que les réseaux de tous les corps cristallins soient sensiblement cubiques et qu'il suffise de multiplier les paramètres déduits de la valeur des angles par certains coefficients tirés de la série des rapports des quatre nombres 1, 2, 3, 4, pour obtenir les véritables paramètres. Mais l'adoption pure et simple de ce résultat fait naître immédiatement une objection que Mallard a bien mis en évidence : « Mais, dit-il, la cristallographie a jusqu'ici fait rejeter une conclusion aussi naturelle. Il est, en effet, impossible d'expliquer les phénomènes cristallographiques de la Calcite, par exemple, sans admettre que la maille du réseau formé intérieurement par les points jouissant de propriétés identiques est un rhomboèdre dont l'axe ternaire a pour paramètre 0,854. La nature des formes

simples principales, l'orientation des clivages ne laissent sur ce point aucun doute.

Il paraît donc y avoir une réelle et sérieuse antinomie entre les phénomènes physiques et les phénomènes cristallographiques. »

Pour faire disparaître cette antinomie, Mallard propose l'hypothèse suivante : Il suppose que toutes les molécules ne sont pas parallèles, mais orientées symétriquement par rapport aux éléments de l'édifice ; il fait appel, comme on le voit, à la théorie de Sohncke. Les centres de gravité de toutes ces molécules seraient sur un même réseau cubique ou sensiblement cubique, qui serait le réseau physique ; mais les centres de gravité des molécules parallèlement orientées, c'est-à-dire les points homologues, seraient sur un autre réseau, le réseau cristallographique, dont les paramètres seraient égaux à ceux du précédent, multipliés par certains rapports des quatre nombres 1, 2, 3, 4. Et, pour bien faire comprendre son idée, Mallard indique, comme exemple, la structure possible d'un édifice ternaire, comprenant trois molécules orientées à 120° l'une de l'autre.

Malheureusement cette explication est en contradiction avec certains faits qui servent de base aux arguments les plus frappants en faveur de la théorie de la quasi-cubicité de tous les cristaux. Mallard fait remarquer, avec raison, que certains corps cristallisant en rhomboèdres voisins de 107° sont dimorphes, la seconde forme étant cubique. Le passage de la forme rhomboédrique à la forme cubique s'effectue sans intervention d'agent extérieur, sans que le cristal perde sa limpidité, sans cassure. Il faut donc que le réseau soit sensiblement le même dans les deux formes. Or, dans l'explication donnée par Mallard, le passage de la forme rhomboédrique à la forme cubique ne peut se faire que par l'orientation parallèle des molécules différemment orientées, de

façon que le réseau cristallographique se confonde avec le réseau physique. Mais cette condition n'est pas suffisante, il faut encore que les molécules possèdent les éléments de symétrie du cube et en particulier un axe ternaire parallèle à celui du réseau rhomboédrique ; par conséquent les molécules que Mallard a d'abord supposées orientées à 120°, sont, en réalité, parallèles.

Il est d'ailleurs à remarquer que cette explication est en contradiction avec la théorie du polymorphisme du même auteur. Il faudrait admettre, en effet, que c'est la forme la moins symétrique qui résulte de groupements de la forme la plus symétrique. Cette conséquence a certainement dû échapper à Mallard : elle lui aurait fait rejeter son explication qu'il est facile de remplacer, comme on le verra plus loin.

Tel était l'état de la question lorsque je fus amené à la reprendre par mes recherches sur les groupements cristallins. La théorie que j'ai donnée de ceux-ci permet, en effet, d'homologuer sans ambiguité les rangées d'un cristal avec celles d'un cristal cubique, et l'on évite ainsi les erreurs indiquées plus haut dans le calcul des paramètres. On peut donc déterminer avec certitude la forme primitive des cristaux et faire disparaître l'arbitraire dans le calcul des paramètres. La plus haute fantaisie règne dans ces déterminations, et c'est à plaisir que les minéralogistes compliquent leurs résultats, dans le but, croirait-on, de leur enlever tout caractère de généralité. Ainsi, par exemple, dans les ouvrages de minéralogie descriptive, on adopte pour les amphiboles monocliniques l'orientation proposée par Tschermak pour permettre la comparaison des propriétés des pyroxènes et des amphiboles, et, comme fatigué par ce premier effort, on prend pour paramètres de l'amphibole les nombres :

$$0,55097 : 1 : 0,293701,$$

et pour les pyroxènes les nombres :

1,09475 : 1 : 0,5919.

Il est bien évident que, si les premiers chiffres sont exacts, les seconds sont erronés ou inversement; on doit donc multiplier les premiers par 2, ou diviser les seconds par le même facteur.

Un des grands avantages, en effet, de l'homologation des éléments des cristaux avec ceux d'un cristal cubique est de permettre des rapprochements, qui échappent complètement avec les procédés de description actuellement employés. Qui penserait, par exemple, à établir un rapprochement, au point de vue cristallographique, entre la Staurotide et le Disthène. Le premier de ces minéraux est donné comme orthorhombique avec paramètres égaux à 0,4734 : 1 : 0,6828, et le second comme triclinique avec une forme primitive déterminée par les nombres : 0,89938 : 1 : 0,70896 ; $\alpha = 90° 5'$, $\beta = 101° 2'$, $\gamma = 105° 44'$. Cependant leurs formes primitives sont presque identiques, ce qui explique pourquoi ces minéraux s'associent dans la nature en adoptant une orientation parfaitement déterminée.

Ce travail comprend deux parties : la première sera consacrée aux considérations d'ordre physique, la seconde en comprendra les applications aux minéraux naturels. J'avais espéré tout d'abord faire rentrer dans mon travail l'étude des cristaux que l'on doit à la chimie et pouvoir, dans ce but, me servir de l'ouvrage dont M. Groth prépare la publication; mais il m'a fallu abandonner ce projet, ce traité de cristallographie chimique ne devant paraître que dans trois ou quatre ans.

Symétrie cubique de la particule complexe. — J'ai montré, dans un travail récent (1), que les cristaux devaient se grouper symétriquement par rapport aux éléments de symétrie limites de leur particule complexe. C'est un fait facile à comprendre, si l'on a présente à l'esprit la définition de ces éléments, que l'on confond trop souvent avec des éléments approchés. L'élément limite d'un polyèdre est défini par cette propriété que le volume commun à ce polyèdre et à son symétrique par rapport à cet élément est un maximum, c'est-à-dire plus grand que pour tout autre élément voisin ; un plan est un plan de symétrie limite, quand le volume commun au polyèdre et à son symétrique, par rapport à ce plan, est plus grand que pour tout autre plan voisin. Très souvent l'élément limite est en même temps un élément approché, c'est-à-dire qu'il y a presque coïncidence entre le polyèdre et son symétrique ; mais c'est là une condition qui n'est ni suffisante, ni nécessaire et, comme on le verra, elle peut n'être nullement réalisée.

Quoi qu'il en soit, il est bien évident, d'après cette définition, que l'orientation symétrique de la particule complexe par rapport à un de ces éléments, correspond, dans la cristallisation, à un maximum relatif de stabilité, l'orientation parallèle correspondant à un maximum absolu. Cette orientation symétrique est donc celle que la particule complexe doit choisir de préférence, quand, par suite de cause extérieure, elle ne peut s'orienter parallèlement aux autres. En un mot, les éléments de symétrie de la particule complexe se retrouvent dans le corps cristallisé, et ses éléments

(1) *Groupements cristallins*. Collection Scientia.

limites dans les groupements de cristaux. On voit quel intérêt préside à l'étude de ces groupements ; elle complète les renseignements que nous fournissent les formes cristallines et les propriétés optiques. Seule elle nous permet de faire des comparaisons rationnelles entre des cristaux appartenant par leur symétrie à des systèmes différents : un groupement de quatre ou huit cristaux autour d'une rangée établit d'une façon indiscutable que cette rangée est comparable à un axe quaternaire, sans avoir à redouter l'indécision résultant de l'emploi des coefficients arbitraires, comme dans la méthode de Mallard.

Mais il ne faut pas oublier, comme on le fait trop souvent, que les cristaux peuvent s'associer d'une façon quelconque : ils peuvent se pénétrer, s'accoler suivant un plan, réticulaire ou non, sans qu'il y ait groupement, au sens scientifique du mot. Ce dernier est caractérisé par ce fait qu'il correspond à un maximum de stabilité et doit, par suite, se reproduire assez fréquemment ; ce qui n'a pas lieu pour les groupements accidentels, trop souvent cités comme macles.

Une étude trop superficielle a également occasionné des erreurs dans le cas de lamelles hémitropes *exclusivement* obtenues par actions mécaniques. Il peut alors arriver que le plan de glissement ne coïncide pas avec le plan de macle, c'est-à-dire avec le plan de symétrie des deux cristaux. On a souvent pris, dans ce cas, le plan de glissement pour un nouveau plan de macle, quoi qu'il soit simplement astreint, comme ce dernier, à être perpendiculaire sur le plan de translation.

Cette théorie des groupements laisse complètement indéterminé l'ordre, le nombre et la position relative de ces éléments limites. Rien ne permet *a priori* d'éliminer des axes d'ordre 5, d'ordre 10, etc., et l'observation seule peut nous fournir des renseignements sur la nature de ces élé-

ments. Jusqu'ici, malheureusement, les groupements cristallins ont été considérés par les minéralogistes comme d'une importance négligeable, comme de simples accidents. Aussi les renseignements que nous possédons sur les groupements sont-ils bien incomplets, et ce n'est pas sans une certaine hésitation que l'on tire des conclusions d'ordre *général*, d'observations aussi restreintes. Toujours est-il que, *si l'on entend, par symétrie totale de la particule complexe, l'ensemble de ses éléments de symétrie proprement dits et de ses éléments limites, révélés par les groupements, on peut dire que cette symétrie totale est toujours celle d'un cube.*

Mais l'énoncé de cette loi, pour être bien comprise, demande quelques éclaircissements. Les plans de groupement d'un cristal cubique holoédrique sont les faces de l'octaèdre {111} et celles du trapézoèdre {211} ; les axes binaires de groupement sont les axes ternaires du cristal [111] et les normales aux faces du trapézoèdre c'est-à-dire, les rangées [121]. Mais si, au lieu d'être rigoureusement cubique, la forme primitive se rapproche seulement d'un cube, aux éléments précédents pourront s'ajouter les droites et plans qui seraient les éléments de symétrie dans un cristal cubique. Autrement dit, en prenant pour axes les arêtes de la forme primitive représentant le cube, les faces des formes {100}, {011} pourront être des plans de groupement, les rangées [100] pourront être des axes quaternaires de groupement, les rangées [111] des axes ternaires et les rangées [011] des axes binaires. Bien entendu si la forme primitive, au lieu d'être asymétrique, possède certains de ces éléments comme éléments de symétrie, ils disparaitront en tant qu'éléments de groupement ; mais, dans tous les cas, la symétrie totale sera ce que nous appelons une symétrie cubique : aux éléments de symétrie du cube s'ajoutent les faces de l'octaèdre et du trapézoèdre et les normales à ces faces.

Il est presque inutile de faire remarquer que si, au lieu de prendre pour axes de coordonnées les arêtes de la forme primitive, arêtes qui correspondent aux axes du cube, on prenait d'autres rangées pour axes, les caractéristiques des plans et axes de groupement seraient modifiés, mais sans que les rapports existant entre les caractéristiques des différents éléments soient changés.

Pour être plus facilement compris, j'ai considéré le cas d'un cristal quasi cubique; mais, en réalité, l'observation montre qu'il en est de même pour tous les cristaux. On peut toujours trouver un tétraèdre, ayant pour arêtes les paramètres de trois rangées et tel que les éléments limites, rapportés à ces trois rangées, aient pour caractéristiques les caractéristiques indiquées plus haut.

A la vérité d'autres éléments de groupement peuvent s'introduire *en apparence*. En effet, si les éléments limites et les éléments de symétrie font entre eux les mêmes angles que dans le cube, à tout axe d'ordre pair correspond un plan de symétrie perpendiculaire; mais il n'en est plus de même, si la relation d'angle n'est pas conservée, si la forme primitive n'est pas un cube. Or, dans ce cas, si deux cristaux centrés sont symétriques par rapport à un axe d'ordre pair, ils seront également symétriques par rapport au plan perpendiculaire, qui paraîtra être un plan de groupement. Mais on sera averti de l'erreur par ce fait, que ce plan ne sera pas un plan réticulaire. C'est pour ce cas que fut introduite la conception de macle par hémitropie parallèle, que l'on avait le tort de fausser par l'introduction du plan d'accolement.

De même, si le cristal possède un axe de symétrie d'ordre pair et un plan de symétrie perpendiculaire, à tout plan limite passant par l'axe correspondra un plan limite apparent perpendiculaire sur les deux autres; car le groupement

possédant deux plans de symétrie en possédera forcement un troisième, qui, d'ailleurs, ne sera pas un plan réticulaire.

Nous voyons donc qu'en s'appuyant sur les observations faites sur les groupements, on arrive à cette conclusion importante, capitale même pour le sujet qui nous occupe: Quand la particule complexe n'est pas cubique, elle doit être considérée comme une particule cubique déformée, autrement dit si, au point de vue géométrique, le nombre des particules fondamentales est variable, au point de vue physique, il est toujours de 48, comme dans un cristal cubique. Il est facile de voir, en effet, en s'appuyant sur la formation des macles par actions mécaniques, qu'en ce qui concerne la répétition des particules fondamentales, un élément limite joue le même rôle, qu'un élément réel. Une macle s'obtient mécaniquement en donnant à chaque point une translation, parallèle au plan macle et proportionnelle à sa distance à ce plan. Or, cette translation ne peut transformer la particule complexe en une particule symétrique, que si à chaque particule fondamentale correspond une autre particule fondamentale diamétralement opposée par rapport au plan de macle. La présence du plan limite double donc, comme celle d'un plan de symétrie le nombre des particules fondamentales.

Ce résultat nous permet de donner une définition précise de la forme primitive d'un corps cristallisé et d'échapper à l'arbitraire qui a présidé jusqu'ici au choix de cette forme primitive. Dans un corps cubique, la forme primitive est le cube, ayant pour faces les trois plans de symétrie principaux de la particule complexe, et, en généralisant, on peut dire que la forme primitive est le parallélipipède ayant pour faces les plans de la particule complexe, qui correspondent aux trois plans de symétrie principaux d'une particule cubique.

Ainsi définies, les formes primitives de tous les corps cristallisés ont même signification physique, et, bien plus, les faces qui, dans les différents corps cristallisés, ont mêmes caractéristiques, sont comparables au point de vue physique.

Constitution de la particule complexe. — Polarisation rotatoire. — Nous venons d'arriver à cette conclusion que la particule complexe devait toujours être considérée, au point de vue physique, comme formée de quarante-huit particules fondamentales. Mais ce résultat peut paraître, à première vue, en contradiction avec certains faits et demande, par suite, quelques explications. Certains cristaux mériédriques présentent deux sortes de formes cristallines, symétriques et non superposables ; il faut donc admettre que les molécules de ces corps sont susceptibles de constituer deux sortes de particules complexes, symétriques les unes des autres. Mais il n'en faudrait pas conclure que ces particules complexes sont de nature essentiellement différente, car il est possible de transformer entièrement des cristaux n'ayant que des formes droites, par exemple, en cristaux n'ayant que des formes gauches. Si on fait dissoudre les premiers et si on détermine la cristallisation par évaporation, on obtient un mélange de cristaux à formes droites et de cristaux à formes gauches; en les triant et en faisant cristalliser à nouveau les premiers, on obtiendra un second mélange, et on pourra, en continuant, effectuer complètement la transformation.

Il n'existe donc, entre les deux sortes de particules complexes, qu'une différence de structure. Elles sont formées des mêmes particules fondamentales disposées différemment. Dans une particule complexe, il y a deux sortes de particules fondamentales, les particules d'une sorte étant symétriques des particules de l'autre sorte, et ces particules fondamentales peuvent donner naissance, conformément à

l'explication du polymorphisme que j'ai donnée antérieurement, à deux particules complexes, symétriques l'une de l'autre par rapport à un plan limite de la particule fondamentale. La propriété que possèdent certains corps de présenter des formes cristallines inverses n'est, en réalité, qu'un cas de polymorphisme, dans lequel le réseau se conserve intact.

Comme application des considérations précédentes, je donnerai une explication de la polarisation rotatoire, différente de celle de Sohncke, puisque cet auteur était obligé d'admettre qu'un cristal rhomboédrique, possédant la polarisation rotatoire, avait un réseau sénaire

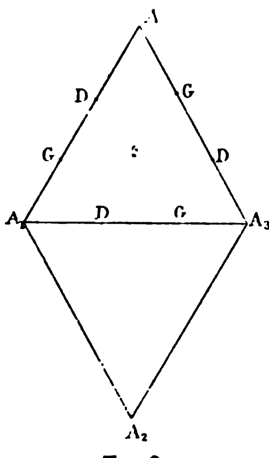


Fig. 3.

Considérons un édifice cristallin ternaire, ayant un réseau ternaire, et soient A, A_1, A_2, A_3 (*fig.* 3), la maille du plan réticulaire perpendiculaire à l'axe ternaire et passant par le centre de gravité A d'une particule complexe. Il est facile de voir que, outre les axes ternaires de révolution, cet édifice possède des axes ternaires hélicoïdaux parallèles aux

premiers et coupant les côtés de la maille au tiers de la distance de deux nœuds. Mais ces axes hélicoïdaux sont de deux sortes, les uns sont droits et les autres gauches. Deux axes de sens contraires sont symétriques par rapport à un plan de symétrie du réseau, tel que celui dont la trace coïncide avec la droite AA_2.

Supposons d'abord que la particule complexe possède ce plan de symétrie; si une particule fondamentale se trouve sur l'axe D, une particule inverse occupera la même position sur l'axe G. Le rayon, se propageant suivant l'axe D, subira une rotation dans un sens, et le rayon se propageant suivant G subira une rotation égale et de sens contraire. Par conséquent le faisceau émergeant ne présentera aucune modification. Si, au contraire, la particule complexe ne possède pas le plan de symétrie, les deux particules fondamentales n'occuperont pas la même position sur les deux axes et, par conséquent, il pourra se faire que l'une des rotations l'emporte sur l'autre, et le cristal possédera une polarisation rotatoire de même sens que la rotation la plus énergique.

Mais alors, si le corps est polymorphe, trois particules complexes pourront se produire, deux symétriques l'une de l'autre par rapport au plan AA_2, et une troisième possédant le plan de symétrie; il y aura donc des cristaux gauches, des cristaux droits et des cristaux neutres.

Cette façon de concevoir les choses fait tomber une objection qui n'était pas sans valeur. Pour expliquer l'existence de cristaux neutres, on était obligé d'admettre que des cristaux de rotations différentes s'empilaient avec une régularité, une constance bien inadmissible. Dans cette explication, il y a bien superposition des deux rotations, mais sans qu'il y ait superposition des deux édifices gauche et droit.

Des rapports de la maille et de la forme primitive. — Pour

tous les minéralogistes, la forme primitive n'est que la représentation de la maille du réseau, et, de fait, il en est ainsi pour un grand nombre de corps cristallisés, les corps cubiques, et ceux que l'on peut considérer comme des corps cubiques *légèrement* déformés. Mais, comme je me propose de l'établir, il est toute une catégorie de corps échappant à cette règle : chez eux la maille et la forme primitive sont des parallélipipèdes différents.

Pour être plus facilement suivi, je vais d'abord montrer au moyen d'exemples, comment on peut trouver la forme primitive quand celle-ci coïncide avec la maille du réseau : j'étudierai successivement la Staurotide et le Disthène.

Staurotide. — Ce minéral orthorhombique a pour paramètres :

$$0{,}4734 : 1 : 0{,}6828.$$

D'autre part on observe les groupements suivants : 1° deux cristaux peuvent se grouper de façon à être orientés à 90° l'un de l'autre autour de l'axe des x;

2° Deux, trois ou six cristaux peuvent se grouper en s'orientant à 120° ou 60° autour d'une rangée située dans le plan des zx et faisant avec l'axe des x un angle de 55° 16′;

3° Les mêmes groupements peuvent s'observer autour d'une rangée située dans le plan des xy et faisant avec l'axe des x un angle de 54° 37′.

Si l'on se rappelle que, dans un cube, un axe ternaire fait avec un axe quaternaire un angle de 54° 44′, il devient bien évident que l'axe des x est un axe quasi quaternaire ; les deux autres axes de groupements, des axes quasi ternaires, et que, par suite, l'axe des z et celui des y sont des axes binaires d'un cristal quasi cubique. En effet, en prenant pour unité le paramètre de l'axe des x, les paramètres

deviennent :

$$1 : \frac{1}{0,4734} : \frac{0,6828}{0,4734},$$

ou en multipliant le second par 2/3 :

$$1 : 1,4082 : 1,4423,$$

c'est-à-dire très sensiblement : $1 : \sqrt{2} : \sqrt{2}$.

On déduit sans difficulté que la forme primitive, qui coïncide ici avec la maille du réseau, est un prisme droit orthorhombique dont la hauteur est parallèle à l'axe des x. Son angle dièdre sur l'axe des z est égal à 88° 38′, et si l'on prend pour unité la hauteur, les deux arêtes de bases sont égales à 1,0078.

Disthène. — Les paramètres cristallographiques de ce minéral sont :

$$0,89938 : 1 : 0,70896,$$

avec

$$xy = 103° 14' \qquad yz = 90° 5' \qquad zx = 101° 2'$$

Les groupements sont assez nombreux et particulièrement intéressants.

1° Le plan des yz (100) est un plan de groupement ;

2° L'axe des z (100) (010) est un axe binaire de groupement ;

3° L'axe des y (001) (010) est un axe binaire de groupement ;

4° Les auteurs indiquent, comme axe binaire de groupement, la droite située dans le plan des yz (100) et perpendiculaire sur l'axe des z (010) (100). Cette droite, qui n'est pas une rangée, n'est qu'en apparence un axe de groupement. En réalité les deux cristaux sont symétriques par

rapport au plan limite passant par l'axe des z et qui, dans un cristal cubique, serait perpendiculaire sur l'axe limite des y :

5° On indique également, comme axe de groupement, la droite située dans le plan des yz et perpendiculaire sur l'axe des y ; comme dans le cas précédent, le véritable élément limite est le plan réticulaire passant par l'axe des y et à peu près perpendiculaire sur l'axe des z ;

6° Deux cristaux sont orientés à peu près à 60 degrés l'un de l'autre, autour d'une rangée située dans le plan des yz et faisant avec l'axe y un angle de 54° 52′ ;

On a, en outre, indiqué des macles suivant les plans (001) et $(\bar{3}08)$; mais, en réalité, dans ces macles qui ne s'obtiennent que par actions mécaniques, les cristaux ne sont pas symétriques par rapport aux plans indiqués; ceux-ci ne sont que des plans de glissement, des plans d'accolement de deux cristaux symétriques par rapport à un plan limite appartenant à la même zone. Ce plan limite n'a pas été déterminé, et peut d'ailleurs être variable, puisqu'il y a trois plans limites passant par l'axe des y.

Il résulte évidemment de ce qui précède que l'axe des y est un axe quaternaire limite et que l'axe des z est un axe binaire limite, et, en effet, si l'on multiplie par 2 le paramètre de ce dernier axe, on obtient 1,41792, c'est-à-dire sensiblement $\sqrt{2}$.

D'autre part il est facile de voir qu'il existe une rangée faisant avec oy un angle de 89° 36′ et avec oz un angle de 89° 41′ et dont le paramètre est égal à 1,4122; cette rangée est donc également un axe binaire limite.

Je ferai remarquer en passant que ce sont les deux plans passant par cette rangée et respectivement par l'axe des y et celui des z, qui sont les plans de macles des n^os^ 4 et 5.

Au moyen des nombres donnés plus haut, il est facile de

calculer les dimensions de la forme primitive. Celle-ci est un prisme triclinique, dont le dièdre, ayant pour arête l'axe des y, est égal à 89° 46′, et les deux autres dièdres à la base sont respectivement égaux à 89° 50′ et 90°, en négligeant les secondes. L'arête du premier de ces dièdres est égal à 0,9969 et l'autre à 1,0041.

On peut se demander quel est la signification de l'axe des x habituel ; cet axe coïncide avec la rangée ayant pour caractéristique, par rapport à la forme primitive [231], et pour paramètre, $4 \times 0{,}89938$.

Il résulte de là que, si l'on désigne par q, r, s, les caractéristiques d'une face par rapport à la forme primitive et par q', r', s', les caractéristiques habituellement employées, on a entre elles les relations :

$$\begin{aligned} q &= 4q' - 3r' - 2s' \\ r &= r' \\ s &= 4s' - 4q' + 3r' \end{aligned}$$

Je terminerai en faisant remarquer que les résultats auxquels nous ont amenés l'étude de la Staurotide et du Disthène expliquent tout naturellement le mode d'association de ces minéraux. On rencontre assez fréquemment des cristaux de Disthène recouverts d'une enveloppe de Staurotide, les deux cristaux ayant une orientation déterminée l'un par rapport à l'autre ; l'axe des x de la Staurotide coïncide avec l'axe des y du Disthène, les deux axes des z coïncidant. Cela revient à dire que les deux axes quaternaires limites se superposent, ainsi que les deux axes binaires ; autrement dit les deux réseaux s'orientent de façon à coïncider autant que possible. De même c'est l'axe vertical de l'Andalousite qui correspond à l'axe des y du Disthène.

Ces deux exemples suffisent, je crois, pour faire comprendre

la méthode à suivre pour déterminer la forme primitive dans le cas où elle coïncide avec la maille du réseau, et je vais maintenant m'occuper du second cas celui ou la maille et la forme primitive sont deux parallélipipèdes différents ayant la même symétrie.

Calcite. — On sait que les minéralogistes prennent pour forme primitive de ce minéral le rhomboèdre de clivage de 105° 5′. Il est facile de voir, en s'appuyant sur les groupements, que ce choix est justifié. En effet, si nous prenons pour axes de coordonnées les arêtes du rhomboèdre de 105° 5, les plans de macle sont les suivants :

1° Les faces du rhomboèdre (100)
2° Les faces du rhomboèdre (110)
3° Les bases (111)
4° Les faces du rhomboèdre ($11\bar{1}$)
5° Les faces du rhomboèdre (211)
6° Les faces du prisme ($11\bar{2}$)

Il est inutile de faire intervenir les axes de groupement, la considération des plans de macles suffisant à montrer que le rhomboèdre est bien la représentation de la particule complexe cubique déformée.

Mais quelle est la maille du réseau ? Malgré le travail de Mallard, qui, il est vrai, n'a pas donné une solution complète de la question, tous les minéralogistes regardent le rhomboèdre de 105° 5′ comme représentant cette maille. Or il est facile de montrer qu'il n'en saurait être ainsi en s'appuyant sur certaines propriétés sinon de la Calcite, du moins d'autres corps cristallisant, comme elle, en rhomboèdres voisins de 107°.

Considérons, par exemple, le chlorate de soude, dont le

polymorphisme a été étudié par Mallard et R. Brauns (1). Ce corps est trimorphe; mais deux de ces formes seulement nous intéressent pour le moment, la forme cubique et la forme rhomboédrique. Ce corps cristallise, en effet, en rhomboèdres très biréfringents, dont l'angle dièdre est à peu près de 106°. Ces rhomboèdres se transforment spontanément en cristaux isotropes sans se fracturer, sans perdre leur transparence, sans changement de forme, autrement dit, sans modification apparente. Si la transformation s'effectue dans le liquide cristallogène, il se produit de petits cubes s'accolant sur le rhomboèdre et prenant, relativement à lui, une orientation déterminée : un de leurs axes ternaire est parallèle à l'axe ternaire du rhomboèdre, et les trois plans de symétrie passant par chacun de ces axes sont également parallèles. Dans certains cas, on voit même un rhomboèdre être biréfringent à une extrémité et monoréfringent à l'autre. Ces faits ne peuvent s'expliquer qu'en admettant que le réseau du rhomboèdre est sensiblement le même que celui des cristaux isotropes, c'est-à-dire sensiblement cubique, les faces du rhomboèdre, autrement dit de la forme primitive, étant des plans réticulaires de ce réseau cubique.

Il était important de remarquer que la forme du rhomboèdre ne change pas, pour établir la persistance du réseau. Car un changement, même notable, dans le réseau, peut se produire sans entrainer de cassure. Ne voit-on pas, dans les macles de la Calcite obtenues par action mécanique, le réseau subir une transformation telle que des angles de 105° 5′ deviennent égaux à 74° 55′, et inversement, sans qu'il y ait pour cela désagrégation du cristal? Le passage de la forme rhomboédrique à la forme cubique pourrait donc se faire par

(1) Mallard, *Bulletin de la Société minéralogique de France*, t. VII; R. Brauns, *Neues Jahrbuch*, 1898.

une modification du réseau, sans que, pour cela, il se produise de cassure. Mais la persistance de la forme extérieure nous indique qu'il n'en est rien.

On voit donc que, dans le passage de la forme rhomboédrique à la forme cubique, tout se réduit à une modification de la particule complexe, analogue précisément à celle qui se produit dans la Calcite, lorsqu'on la macle par action mécanique. Dans ce minéral, les particules fondamentales, qui étaient orientées symétriquement par rapport à un axe ternaire du réseau, s'orientent symétriquement autour d'une autre rangée, qui devient axe ternaire du réseau. De même dans le chlorate de soude rhomboédrique, la particule complexe n'avait qu'un axe ternaire; lors de la transformation, les particules fondamentales s'orientent de façon à ce que cette particule complexe en acquiert trois autres.

Nous sommes donc amenés à cette conclusion, que tous les cristaux dont la forme primitive est un rhomboèdre voisin de 107°, ont cependant un réseau sensiblement cubique ayant pour plans réticulaires les faces de la forme primitive.

Par conséquent, dans la Calcite, en supposant que la face déterminante du rhomboèdre de 105° 5′ ait pour caractéristiques $(xo\bar{x}y)$ par rapport au réseau, on aurait :

$$0{,}85430 = \frac{x}{y}\sqrt{\frac{3}{2}},$$

si le réseau était rigoureusement cubique. Comme la cubicité n'est qu'approchée, il faut chercher, pour x et y, des nombres entiers satisfaisant d'une façon approximative à cette égalité. Mais il y a une infinité de solutions ; aussi supposerons-nous pour le moment, en nous proposant de revenir plus tard sur la question, que les nombres x et y sont

simples. Dans cette hypothèse, on trouve $x = 2$ et $y = 3$, le rhomboèdre, dont l'axe ternaire a pour paramètre $\frac{2}{3}\sqrt{\frac{3}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 0{,}81650$, ayant, en effet, un angle dièdre égal à 107° 6′. Le paramètre de l'axe ternaire de la maille du réseau est alors égal à $\frac{3}{2}\,0{,}85430 = 1{,}28145$, et l'angle dièdre de ce rhomboèdre égal à 88° 18′. Ce rhomboèdre se rencontre, d'ailleurs, dans la nature.

Je terminerai relativement à la Calcite, en faisant remarquer que, si au lieu de rapporter les faces à la forme primitive, on les rapporte à la maille du réseau, la caractéristique relative à l'axe ternaire sera multipliée par 3 et celle relative à l'axe binaire par 2.

Diopside. — Je vais maintenant m'occuper d'un autre type, celui des pyroxènes monocliniques, en partant du Diopside. Les données de ce minéral monoclinique sont :

$$1{,}09213 : 1 : 0{,}38932 \text{ avec } zx = 74°\,10'.$$

Les plans de macles ont pour caractéristiques :

$$(100), (001), (101)$$

et passent par l'axe binaire.

D'autre part, les cristaux peuvent se macler suivant le plan $(\bar{1}22)$ faisant avec le plan de symétrie un angle de 59° 29′.

En outre, le plan $(\bar{1}22)$ coupe ce plan de symétrie suivant une rangée qui fait avec l'axe des z, dans l'angle aigu de Ox et Oz, un angle de 90° 11′, et cette rangée sert d'axe de groupement pour trois ou six cristaux orientés sensiblement à 120° ou à 60° l'un de l'autre. Cette rangée est donc un axe ternaire limite. La forme primitive et la maille du réseau

peuvent donc être considérées comme dérivant par une légère déformation de rhomboèdres ayant cette rangée pour axe ternaire. Aussi, pour conserver toujours la même orientation des axes, prendrons-nous pour axe des z cet axe ternaire limite, pour axe des y l'axe binaire et pour axe des x l'ancien axe des z, c'est-à-dire une rangée qui, dans un cristal cubique, serait perpendiculaire à une face du trapézoèdre (211).

Or il est facile de voir que, dans un tel système d'axes de coordonnées, les plans passant par l'axe des z et susceptibles d'être des plans de macles ont pour caractéristiques (110) et $(\bar{1}10)$, faisant avec le plan de symétrie des angles de 30°; (310) et $(\bar{3}10)$ faisant avec ce même plan des angles de 60° et (100) perpendiculaire sur ce plan.

Les plans passant par l'axe binaire et susceptibles d'être des plans de macle ont pour notation (101), $(\bar{2}01)$, $(10\bar{2})$, (401); mais il ne faut pas oublier que, dans chacun de ces groupements, il existe un troisième plan de symétrie passant par l'axe binaire et perpendiculaire respectivement sur chacun des plans précédents. Pour déterminer le rhomboèdre qui, par une légère déformation, peut donner naissance à la forme primitive, les plans de macles passant par l'axe ternaire ne peuvent servir, parce qu'ils sont les mêmes dans tous les rhomboèdres; il faut recourir aux plans passant par l'axe binaire dont l'un, désigné dans la notation habituelle, par le symbole (001) fait, avec l'axe ternaire, un angle de 15° 39′, et l'autre (101) fait avec le même axe un angle de 40°.

La méthode des essais successifs est la seule applicable; le premier, par exemple, des plans de macle observés doit être assimilé à l'un des quatre plans indiqués plus haut, comme susceptibles d'être un plan de macle, et le rhomboèdre, forme primitive, se trouvera par cela même déterminé. La vérification consistera à voir si l'angle de deux faces, déduit

par le calcul de cette forme primitive, se rapproche avec une approximation suffisante de l'angle des deux mêmes faces mesurées sur le pyroxène et, en particulier, s'il existe un plan de macle faisant avec l'axe ternaire un angle voisin de 40°.

Il est tout naturel d'admettre, pour la particule complexe, la plus faible déformation et d'assimiler le premier plan de macle avec le plan (401) qui, dans tous les cas, est celui qui fait le plus petit angle avec l'axe ternaire. Si donc on désigne par c et a les paramètres de l'axe ternaire et de l'axe des x, on devra avoir :

$$\frac{a}{4} = c \operatorname{tang} 15^\circ 39'.$$

Mais, d'autre part, si ce plan de macle est un plan réticulaire d'un réseau sensiblement cubique, on doit avoir :

$$\frac{c}{a} = \frac{s}{q} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{6}}$$

s et q étant des nombres entiers.

Il en résulte :

$$\frac{s}{q} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\operatorname{tang} 15^\circ 39'} = \frac{5.048}{4} = \frac{5}{4}.$$

Dans cette hypothèse, le rapport de l'axe ternaire à l'axe binaire du rhomboèdre cherché serait donc voisin $\frac{5}{4} \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$, et son angle dièdre différerait peu de 82° 10′.

Pour vérifier si la forme primitive du Diopside peut bien être considérée comme un rhomboèdre de 82° 10′ légère-

ment déformé, il est tout d'abord nécessaire de calculer les caractéristiques des faces connues de ce minéral, par rapport aux nouveaux axes, c'est-à-dire par rapport à l'axe ternaire, comme axe des z, l'axe binaire comme axe des y, et la perpendiculaire commune comme axe des x.

Remarquons tout d'abord que, dans le rhomboèdre précédent, si l'on prend pour unité le paramètre de l'axe binaire, le paramètre de la droite d'intersection d'un plan de symétrie avec le plan (401), droite prise habituellement pour axe des x, est égal à 6,3639, celui de l'axe des z habituel est égal à $\sqrt{3} = 1,732$; et de la comparaison de ces nombres avec ceux adoptés ordinairement :

$$6,3639 : 1 : 1,732$$
$$1,09213 : 1 : 0,58932,$$

il résulte que, pour avoir les vrais paramètres du Diopside, il faut multiplier le premier par 6 et le dernier par 3. Il faut, par conséquent, multiplier également la première caractéristique par 6 et la dernière par 3.

Si donc on désigne par (qrs) les caractéristiques d'une face par rapport aux axes habituels, la caractéristique relativement au nouvel axe des x sera $3s$, celle relative à l'axe des y ne changera pas, et, comme il est facile de le voir par un calcul simple, celle relative au nouvel axe des z, $\frac{3s + 6q}{4}$;

On aura donc :

$$(q \,.\, r \,.\, s) = \left(3s \,.\, r \,.\, \frac{3s + 6q}{4}\right).$$

Calculons les caractéristiques des plans de macle $(\bar{1}22)$ (101), *qui ne sont pas intervenues dans la détermination de la forme primitive.*

On obtient $(\bar{1}22) \equiv (310)$, ce dernier plan est bien un plan macle possible, et fait avec le plan de symétrie, dans le rhomboèdre, un angle de 60°, et, dans le Diopside, un angle de 59° 29′.

$(101) \equiv (403)$. Ce dernier plan est perpendiculaire sur le plan de macle (101) et se trouve être, par cela même, un plan de macle apparent; de plus, dans le rhomboèdre, il fait un angle de 40° 19′ avec l'axe ternaire, et, dans le Diopside, un angle de 40° avec le même axe. La vérification est donc parfaite : elle se complète par le tableau suivant, comprenant, dans la première colonne, les caractéristiques anciennes; dans la deuxième, les nouvelles; dans la troisième, les angles mesurés dans le Diopside, et, dans la quatrième, les angles dans le rhomboèdre de 82° 10′.

(110) $(1\bar{1}0)$	≡	(023) $(0\bar{2}3)$	92° 50′	91° 10′
(210) $(2\bar{1}0)$		(013) $(0\bar{1}3)$	55° 26′	54° 58′
(130) $(1\bar{3}0)$		(021) $(0\bar{2}1)$	35° 12′	36° 10′
(001) (101)		(401) (403)	24° 41′	24° 21′
(001) (102)		(401) (100)	15° 39′	15° 48′
(001) $(\bar{1}01)$		(401) $(40\bar{1})$	31° 20′	31° 36′

De cette concordance résulte que la forme primitive des pyroxènes est un prisme monoclinique voisin du rhomboèdre, et leur réseau, un réseau sensiblement cubique. Le calcul montre, en effet, que le dièdre de la forme primitive dont l'arête est située dans le plan de symétrie est égal à 80° 36′ et les deux autres dièdres égaux à 82° 5′. Le dièdre de la maille du réseau situé dans le plan de symétrie est égal à 91° 30′ et les deux autres à 90° 6′.

Dans la pratique, on a évidemment intérêt, pour mettre en évidence l'existence des éléments de symétrie, à prendre pour axes cristallographiques les axes indiqués plus haut au

lieu des trois arêtes de la forme primitive, et alors les paramètres du diopside deviennent :

$$1.76796 : 1 : 1{,}5747 \quad \text{avec} \quad \beta = 90^\circ 11'.$$

Si l'on rapportait les faces à la maille du réseau, au lieu de les rapporter à la forme primitive, la caractéristique relative à l'axe binaire serait multipliée par 4, et celle relative à l'axe des x par 5.

De la déformation de la particule complexe. — A propos de la Calcite, après avoir établi que les faces de la forme primitive sont des plans réticulaires du réseau, j'ai déterminé les caractéristiques q et s de ces faces en cherchant les nombres entiers *simples* satisfaisant approximativement à l'égalité :

$$0{,}85430 = \frac{q}{s}\sqrt{\frac{3}{2}}$$

ou

$$\frac{q}{s} = 0{,}6975$$

en adoptant la solution $\frac{q}{s} = \frac{2}{3}$, c'est-à-dire 0,666. Il en résulte, pour le rapport de l'axe ternaire à l'axe binaire dans la maille du réseau, la valeur 1,28145. Or on est en droit de se demander si le choix des caractéristiques simples est bien justifié, et si l'on ne se rapprocherait pas plus de la vérité en adoptant la solution $\frac{q}{s} = \frac{7}{10}$, qui donnerait pour le rapport précédent la valeur 1,2204 plus voisine de $\sqrt{\frac{3}{2}}$. Mais il ne faut pas oublier que la Calcite n'est pas un minéral isolé ; elle fait partie d'une série bien naturelle de carbonates rhomboédriques, qui ont trop de caractères communs pour que l'on

puisse admettre, pour chacun d'eux, des caractéristiques différentes des faces de la forme primitive.

Or cette série comprend la Sidérite et la Mésitite dont les paramètres sont respectivement : 0,8184 et 0,8141, et si l'on adopte la solution $\frac{q}{s} = \frac{2}{3}$, il en résulte, pour le paramètre de l'axe ternaire de la maille du réseau, les valeurs 1,2276 et 1,2211. Autrement dit, ces mailles sont des rhomboèdres ayant pour angles dièdres 89°53′ et 90°5′. Les différences ne sont donc que de 7′ et 5′ sur la maille cubique, et le choix de la solution paraît bien justifié. Une remarque analogue pourrait être faite pour les pyroxènes.

Mais il en résulte une conclusion qui mérite de retenir l'attention. Si les caractéristiques des faces de la forme primitive doivent être des nombres simples, il s'ensuit par cela même que la particule complexe ne pourra présenter, dans la série des cristaux, une déformation continue. Elle se déformera en restant voisine de certains types, tels que le cube, le rhomboèdre de 107° 6′, le rhomboèdre de 82° 10′, sans que l'on puisse constater une déformation continue allant, par exemple, du cube au rhomboèdre de 107° 6′.

Il est facile, sinon de démontrer, tout au moins de faire comprendre qu'il doit en être ainsi.

Tout d'abord on ne doit pas oublier que la particule complexe n'existe pas en dehors de l'édifice cristallin ; dans un milieu cristallogène, il n'y a pas de particules complexes, il n'y a que des molécules, tout au plus des particules fondamentales. Dans la cristallisation, celles-ci se disposent de façon à ce que leurs centres de gravité soient sur des réseaux sensiblement cubiques et donnent ainsi naissance à des particules complexes qui, par cela même qu'elles appartiennent à un milieu cristallin, doivent satisfaire à certaines conditions. En particulier leurs éléments de symétrie réels ou limites doivent

coïncider avec des éléments correspondants, rangés ou plans réticulaires du réseau. Or ceux-ci doivent avoir des caractéristiques simples ; car qu'est-ce qu'un plan réticulaire dont les caractéristiques sont de grands nombres ? C'est un plan à faible densité superficielle, un plan dans lequel les centres de gravité des particules complexes sont très éloignés les uns des autres. Or la sphère d'action d'une particule a toujours un faible rayon, et dès que la densité superficielle descend au-dessous d'une certaine limite, la particule n'exerce plus aucune action sur les autres particules situées dans ce plan et réciproquement. Mais alors, pour la particule, ce plan ne se distingue en rien d'un plan quelconque, ce n'est plus à proprement parler un plan réticulaire, et il ne saurait intervenir dans la formation de la particule complexe.

De cette analyse résulte donc que, en général, les caractéristiques de la forme primitive doivent être simples et, en outre, qu'un type de forme primitive sera d'autant plus rare, dans la série des corps cristallisés, que ses caractéristiques seront plus élevées. On pourra, en effet, constater dans la seconde partie de ce travail que le type le plus fréquemment réalisé est celui où la forme primitive se confond avec la maille du réseau, puis vient, comme fréquence, le type du rhomboèdre $\frac{2}{3}\sqrt{\frac{3}{2}}$ et enfin celui du rhomboèdre $\frac{5}{4}\sqrt{\frac{3}{2}}$.

Déformation du réseau. — On vient de voir que la forme primitive se rapproche plus ou moins de certains rhomboèdres, qui peuvent être très nettement différents d'un cube. Au contraire le réseau est toujours sensiblement cubique ; mais cette expression sensiblement cubique demande à être précisée si l'on veut la faire sortir du domaine de l'appréciation personnelle. Dans quelles limites doivent se tenir les variations des angles dièdres de la maille pour que le

réseau puisse encore être assimilé à un réseau cubique ? L'observation seule peut évidemment fournir une réponse à cette question, et c'est dans l'étude des mélanges isomorphes qu'il faut la chercher. Tous les minéralogistes s'accordent à admettre que la propriété que possèdent certains corps de se mélanger pour cristalliser entraîne, pour ces corps, une constitution cristalline identique ; leurs réseaux doivent différer suffisamment peu pour pouvoir être considérés comme comparables.

Or l'observation nous montre que la différence entre les dièdres des mailles de deux corps isomorphes peut atteindre et même dépasser 4 degrés. Telle est donc la limite qu'en toute rigueur nous pouvons admettre pour le réseau. Autrement dit, nous devons nous attendre à trouver pour les dièdres de la maille des valeurs variant entre 86° et 94°.

Des relations entre la déformation et les propriétés physiques. — Des considérations précédentes, il résulte que tous les cristaux peuvent être considérés comme des cristaux cubiques légèrement déformés. Ce n'est pas là une vue purement théorique. Il ne faut pas oublier, en effet, que beaucoup d'entre eux sont polymorphes, l'une des formes étant cubique et les autres pouvant se déduire de cette dernière, en suivant des règles qui nous sont données par la théorie du polymorphisme. Plus on avance dans l'étude des corps cristallisés, plus on est amené à cette conviction que le polymorphisme n'est pas une propriété particulière à quelques cristaux, mais bien une propriété générale, et il est bien naturel de penser qu'un jour viendra où l'on connaîtra la forme cubique de tous les corps cristallisés. Ils peuvent donc être considérés comme résultant de la déformation, de la transformation, si l'on préfère, d'une forme cubique, et l'on doit se demander s'il ne serait pas possible de déduire les propriétés

physiques et, en particulier, les propriétés optiques des éléments de la déformation.

Je dois dire de suite que, dans l'état actuel de la science, il est impossible d'atteindre ce résultat; mais, comme plusieurs physiciens en ont admis implicitement la possibilité en étudiant l'influence des actions mécaniques sur les propriétés optiques, il n'est pas inutile de s'arrêter sur ce sujet. Si l'on désigne par a, b, c, les paramètres des trois rangées représentant les axes quaternaires, les quantités $a - 1$, $b - 1$, $c - 1$, que nous désignerons par δx, δy, δz, représentent les variations de l'unité de longueur suivant ces trois axes. En général ces trois rangées ne sont plus rectangulaires : désignons donc α_x, α_y, α_z, les excès de leurs angles sur 90°, exprimés, bien entendu, en unité d'arc.

Les composantes Nx, Ny, Nz, Tx, Ty, Tz, des forces élastiques optiques suivant les actes quaternaires, seront données par les expressions :

$$N_x = A\delta_x + B(\delta_y + \delta_z) + N$$
$$N_y = A\delta_y + B(\delta_x + \delta_z) + N$$
$$N_z = A\delta_z + B(\delta_x + \delta_y) + N$$
$$T_x = \frac{1}{2}(A - B)\,\alpha_x$$
$$T_y = \frac{1}{2}(A - B)\,\alpha_y$$
$$T_z = \frac{1}{2}(A - B)\,\alpha_z$$

N étant la force élastique dans la forme cubique, A et B deux constantes. Si N est connu, ces équations devraient permettre de calculer toutes les constantes optiques en fonctions des paramètres cristallographiques, après avoir déterminé A et B par deux expériences. Dans le cas où N n'est pas connu, elles devraient permettre de déterminer l'orien-

tation de l'ellipsoïde d'élasticité optique et l'angle des axes optiques, autrement dit les quantités ne dépendant que de la différence des forces élastiques.

Malheureusement il n'en est rien : la théorie de l'élasticité, établie par les mathématiciens et les physiciens et d'où découlent les formules précédentes, suppose que les éléments, dans la déformation, se déplacent parallèlement à eux-mêmes ; autrement dit, on ne considère, dans cette théorie, que le déplacement du centre de gravité, sans tenir compte de la rotation de l'élément autour de son centre. Or c'est précisément cette rotation de la particule fondamentale qui paraît intervenir le plus énergiquement dans la variation des forces d'élasticité optique; certains cristaux, dont le réseau est relativement très déformé, sont peu biréfringents, tandis que d'autres, dans lesquels le réseau n'a éprouvé qu'une déformation très faible ou même nulle, ont une biréfringence assez élevée : telle la Boracite, dont le réseau est cubique et dont la biréfringence est supérieure à celle du quartz.

La théorie mathématique de l'élasticité est donc un instrument trop grossier pour pouvoir être utile dans l'étude des phénomènes qui nous occupent. Par conséquent tous les résultats déduits par Neuman, Wertheim, etc., de leurs observations, en faisant intervenir la théorie de l'élasticité, doivent être rejetés.

DE LA SYMÉTRIE APPARENTE.

En étudiant les cristaux considérés comme cristallisant dans le système quadratique, j'ai été frappé de ce fait que, par la valeur de leurs angles, la nature de leurs groupements, ils se répartissaient en deux groupes nettement distincts. Les uns présentent tous les caractères de cristaux

possédant un axe quaternaire de structure, c'est-à-dire un axe quaternaire commun à leur réseau et à leur particule complexe. Les autres, au contraire, tant par les angles de leurs faces que par la façon dont ils se groupent, se rapprochent beaucoup des cristaux rhomboédriques ayant un axe ternaire, normal sur la direction considérée comme étant un axe quaternaire.

J'ai été ainsi amené à considérer comme nécessaire l'introduction dans la cristallographie d'une notion nouvelle, *la symétrie apparente :* celle-ci doit être soigneusement distinguée de la symétrie, lorsque l'on veut reconnaître les analogies existant entre les cristaux de différentes espèces, lorsque l'on veut les grouper d'une façon naturelle.

Un exemple suffira à faire comprendre ce qu'il faut entendre par symétrie apparente. Considérons un cristal rhomboédrique, c'est-à-dire un cristal dont le réseau est ternaire. Il est facile de voir que si l'on fait tourner le réseau de 60° autour de l'axe ternaire, un plan réticulaire quelconque vient coïncider avec un autre plan réticulaire, quoique le réseau ne se retrouve pas en coïncidence avec lui-même, puisque les nœuds situés dans les plans ne se superposent pas. Il en résulte que, dans le cristal, à toute face, correspond cinq faces symétriques de la première par rapport à l'axe ternaire. Ces six faces ne sont pas identiques et, dans la cristallisation, la formation de l'une d'elles n'entraînera pas, *en général,* la formation des cinq autres, mais seulement la formation de deux autres. Tel est le cas général; mais il peut se présenter des cas particuliers où les six faces se produisent avec la même facilité, et alors, quoique ne possédant qu'un axe ternaire, le cristal paraîtra posséder un axe sénaire : il aura un axe sénaire de symétrie apparente. Ainsi le quartz possède certainement une symétrie ternaire, quoique le plus souvent, par suite de la coexistence des rhomboèdres p et $e^{1/2}$,

on pourrait le prendre pour un cristal hexagonal, et même cet axe ternaire est un axe sénaire de symétrie apparente pour certaines formes cristallines, telles que l'isocéloèdre $(2\bar{1}\bar{1}2)$, dont les six faces coexistent toujours. Il pourrait en être de même pour toutes les formes cristallines, et le quartz, quoique son réseau n'ait qu'un axe ternaire, paraitrait avoir un axe sénaire.

Cette notion de symétrie apparente, qui nous amène à admettre qu'un corps cristallisé peut présenter un axe de symétrie dans ses formes cristallines et même dans son ellipsoïde d'élasticité optique, sans que cet élément se retrouve dans sa structure, est évidemment en contradiction avec les idées reçues, avec les idées courantes. Mais cette conception de la symétrie résulte d'une habitude et n'est justifiée par aucun raisonnement. Il est bien vrai que, si un corps cristallisé possède un axe de symétrie de structure, c'est-à-dire dans son réseau et sa particule complexe, cet axe se retrouvera dans ses formes cristallines et ses propriétés optiques; mais la réciproque n'est pas démontrée, quoique, par habitude, on l'admette sans discussion. Il est, en effet, facile de montrer par quelques exemples que la symétrie peut paraître plus élevée qu'elle ne l'est en réalité.

Considérons l'Iodargyrite; cette substance présente, dans ses formes cristallines, une symétrie nettement hexagonale, et l'on admet, par suite, qu'elle possède un axe sénaire et dans son réseau et dans sa particule complexe. En réalité son réseau est sensiblement cubique; elle ne possède qu'un axe ternaire de structure, qui est binaire par symétrie apparente.

Un premier argument est tiré de ce fait que le paramètre de l'axe vertical rapporté à l'axe binaire est égal à 1,2294, c'est-à-dire très sensiblement à $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$, qui est le

rapport de l'axe ternaire à l'axe binaire dans le réseau cubique. Si le réseau était hexagonal, pourquoi l'axe vertical aurait-il cette valeur si particulière ; dans un tel réseau, il n'existe aucun rapport entre l'axe vertical et l'axe binaire.

Second argument : les cristaux se maclent suivant la face $(10\bar{1}2)$, faisant avec l'axe binaire un angle de 54° 38′ : c'est un groupement inexplicable dans l'hypothèse d'un cristal hexagonal ; si, au contraire, le cristal est considéré comme cubique, cette face de groupement est un plan limite coïncidant avec l'une des faces du rhombododécaèdre, qui, dans le cube, fait avec l'axe ternaire un angle de 54° 44′. La déformation n'est donc que de 6′.

Enfin un troisième, qui, lui est démonstratif, est tiré de la belle expérience de MM. Mallard et Le Châtellier. Quand on chauffe l'Iodargyrite, elle devient cubique à la température de 146°, et le phénomène est réversible. Elle peut même être cubique à une température quelconque, la température de transformation s'abaissant avec la pression. Le passage d'une forme à l'autre s'effectuant sans autres cassures que celles résultant d'une inégalité d'échauffement, il faut bien que le réseau, cubique au-dessus de 146°, soit ternaire et non sénaire au-dessous de cette température. La déformation du réseau est précisément mesurée par le rapport 1,2294 qui, dans le réseau cubique, est égal à 1,2247.

Les soi-disant formes cristallines hexagonales observées dans l'Iodargyrite résultent donc simplement de la combinaison de deux formes ternaires. L'isocéloèdre $(10\bar{1}1)$ résulte de la combinaison de deux rhomboèdres $(10\bar{1}1)$ et $(01\bar{1}1)$, dont les faces font avec l'axe ternaire un angle égal à 35° 10′ au lieu de 35° 16′, comme cela a lieu dans un cristal cubique. De même la coexistence des rhomboèdres $(20\bar{2}1)$

$(02\bar{2}1)$, dont les faces font avec l'axe ternaire un angle 19° 24 au lieu de 19° 28 donne un faux isocéloèdre.

D'autre part, la Wurtzite présente, dans ses formes cristallines, un axe sénaire, et le rapport de cet axe à l'axe binaire est égal à 1,2262. Mais la Blende, de même composition, possède un réseau cubique et, quand on la chauffe, elle se transforme en Wurtzite. Celle-ci possède donc, non pas un réseau sénaire, mais bien un réseau ternaire.

On voit comment un axe ternaire peut prendre l'apparence d'un axe sénaire. J'ai déjà émis ailleurs cette opinion qu'il n'existait pas d'axe sénaire et j'ai proposé, pour expliquer l'apparence sénaire, l'explication suivante : les axes ternaires sont, comme on le sait, des axes binaires de groupement et, par suite, dans un tel groupement, l'axe ternaire devient un axe sénaire. Cette explication s'applique à certains cas, tels que la néphéline ; mais, en définitive, elle n'est pas nécessaire, comme nous le montrent les exemples que je viens de citer.

Je vais maintenant montrer qu'un axe ternaire approché peut, en apparence, jouer le rôle d'un axe binaire. Le chlorate et le bromate de soude qui, comme nous l'avons vu, présente une forme cubique et une forme rhomboédrique voisin de 107° 6′ sont, en réalité, trimorphes. Ils cristallisent en cristaux soi-disant orthorhombiques, dont l'angle de base est compris entre 118° et 120°. Ils possèdent donc tout au moins un axe ternaire approché, et on les considère comme quasi hexagonaux, l'axe sénaire étant par suite d'une légère déformation réduit à l'ordre d'axe binaire. Or ces cristaux se transforment spontanément, sans perdre leur transparence, en cristaux cubiques, et, de plus, la transformation peut se faire au moyen d'une étape intermédiaire. Ils passent d'abord à l'état de rhomboèdre de 106°, dont l'axe ternaire coïncide avec leur axe ternaire approché, puis ces rhom-

boèdres, à leur tour, se transforment en cristaux cubiques, comme il a été dit plus haut. Il résulte nettement de ces observations que les cristaux soi-disant orthorhombiques ont un réseau quasi cubique, dont un axe ternaire est parallèle à leur hauteur ; ils n'ont qu'un axe binaire parallèle à la petite diagonale du losange de base ; les deux autres axes ne sont que des axes de symétrie apparente.

Je rappellerai que l'étude des propriétés électriques et des figures de corrosion faites par MM. Hankel et Beckenkamp, amène à la même conclusion pour l'Aragonite, et j'ai étendu leur résultat à la Strontianite et, par suite, à tous les carbonates orthorhombiques. Fréquemment d'ailleurs, les cristaux de ces substances sont maclés suivant les plans (001) et (010), ce qui entraîne la symétrie orthorhombique dans le *groupement*, chacun des cristaux étant monoclinique.

Comme nous le verrons, un grand nombre de cristaux considérés comme orthorhombiques rentrent dans cette catégorie.

Avant d'aborder l'étude de cas plus complexes, il est nécessaire de donner une définition précise des éléments de symétrie apparente et d'établir quelques-unes de leurs propriétés.

Définition. — Une rangée est susceptible d'être un axe de symétrie apparente d'ordre n, lorsqu'une rotation du réseau de $\frac{2\pi}{n}$ autour de cette rangée amène un plan réticulaire quelconque à coïncider avec un autre plan réticulaire, sans que le réseau se retrouve en coïncidence avec lui-même.

Cette définition, il est vrai, est peut-être trop restreinte : il se pourrait, comme on le verra plus loin, qu'une rangée soit susceptible d'être un axe apparent d'ordre n, lorsqu'une rotation de $\frac{2\pi}{n}$ amène un plan réticulaire non pas à coïncider

avec un autre plan, mais simplement à être parallèle à un autre plan réticulaire. Toutefois nous nous en tiendrons pour le moment à la première définition.

De cette définition résulte évidemment que, dans la rotation, une rangée quelconque vient en coïncidence avec une autre rangée, puisque une rangée peut toujours être considérée comme la droite d'intersection de deux plans réticulaires.

Théorème. — Les paramètres de deux rangées symétriques sont des quantités commensurables.

Considérons deux rangées symétriques passant par un nœud O de l'axe et soient A et A′ les nœuds de ces rangées limitrophes du nœud O. Considérons la totalité des plans réticulaires d'un système de plans parallèles entre eux. L'un d'eux passera par le nœud O, et un autre par le nœud A, et par conséquent on aura $OA = md$, m étant un nombre entier et d la longueur interceptée sur la rangée par deux plans limitrophes. Par la rotation la rangée OA viendra coïncider avec la rangée OA′, et les plans réticulaires viendront coïncider avec d'autres plans réticulaires, dont l'un passera par O et un autre par A′ ; on aura donc $OA' = m'd$ et par suite :

$$\frac{OA}{OA'} = \frac{m}{m'}.$$

Théorème. — Un axe de symétrie apparente est perpendiculaire sur un plan réticulaire.

Considérons d'abord le cas où l'axe est d'ordre pair, et soient a, a', les paramètres de deux rangées à 180° l'une de l'autre, se coupant en un nœud O de l'axe.

On a :

$$a = md$$
$$a' = m'd$$

et par suite :

$$m'a = ma'.$$

Les points situés sur les deux rangées à cette distance commune sont des nœuds, et la droite qui les joint est évidemment une rangée perpendiculaire sur l'axe. Il y a donc une infinité de rangées perpendiculaires sur l'axe, qui, par suite, est lui-même perpendiculaire sur un plan réticulaire.

Supposons maintenant que l'axe soit d'ordre 3, les paramètres de trois rangées symétriques, se coupant en un nœud de cet axe, satisferont aux conditions :

$$a = md$$
$$a' = m'd$$
$$a'' = m''d$$

et, par suite, les points situés sur ces rangées, à une distance du nœud de l'axe égale à $m'.m''a = m.m''a' = m.m'a''$ seront trois nœuds, et le plan réticulaire passant par ces trois nœuds sera perpendiculaire sur l'axe.

Théorème. — Une rangée perpendiculaire sur un plan réticulaire est susceptible d'être un axe de symétrie apparente d'ordre pair.

Prenons cette rangée pour axe des z et deux autres rangées conjuguées pour axes des x et des y. Un plan réticulaire quelconque aura une équation de la forme :

$$q\frac{x}{a} + r\frac{y}{b} + s\frac{z}{c} = k.$$

L'équation d'un plan coupant l'axe des z au même poin que le plan précédent pourra être mise sous la forme :

$$q'\frac{x}{a} + r'\frac{y}{b} + s\frac{z}{c} = k.$$

Il est facile de voir que ce plan sera à 180° du premier, si

q' et r' satisfon aux conditions :

$$q' = q - 2\frac{a}{c}s\cos\alpha,$$
$$r' = r - 2\frac{b}{c}s\cos\beta,$$

α et β étant les angles des axes de coordonnées xOz et yOz.

Pour que l'équation représente un plan réticulaire, il faut que q' et r' soient rationnels. Or, pour que l'axe z soit perpendiculaire sur un plan réticulaire (q'', r'', s''), il faut que l'on ait :

$$\frac{a\cos\alpha}{q''} = \frac{b\cos\beta}{r''} = \frac{c}{s''}.$$

On a donc par suite :

$$q' = q - 2s\frac{q''}{s''}$$
$$r' = r - 2s\frac{r''}{s''}$$

Les nombres q' et r' sont donc rationnels.

Lemme. – Il résulte de ce théorème qu'un axe ternaire proprement dit ou de symétrie apparente est susceptible d'être un axe binaire de symétrie apparente.

Théorème. — Dans le plan réticulaire perpendiculaire sur un axe de symétrie apparente d'ordre n les rangées font entre elles des angles égaux à $\frac{2\pi}{n}$.

Ce théorème résulte de ce que les plans réticulaires passant par l'axe font entre eux des angles égaux à $\frac{2\pi}{n}$ et coupent le plan réticulaire perpendiculaire sur l'axe suivant des rangées.

Application. — Considérons un édifice cristallin dont le réseau est ternaire.

Dans le plan perpendiculaire à l'axe ternaire, le réseau possède trois axes binaires et, en outre, il existe trois rangées, les grandes diagonales de la maille losangique du plan réticulaire, qui sont perpendiculaires sur les axes binaires. L'axe ternaire et ces trois grandes diagonales sont susceptibles d'être des axes binaires de symétrie apparente et, par suite, le cristal pourra présenter, dans ses formes cristallines et naturellement dans ses caractères optiques, l'apparence d'une symétrie sénaire.

Comme je l'ai déjà fait remarquer, cette symétrie apparente pourra se transformer en symétrie réelle par un groupement binaire, soit autour de l'axe ternaire, soit autour d'une grande diagonale, qui, comme on le sait, sont des axes possibles de groupement.

Supposons maintenant que la particule complexe se déforme légèrement de façon à ne plus posséder qu'un axe binaire. En général le réseau sera modifié; mais il pourra se faire que l'axe binaire, l'axe ternaire du réseau et la grande diagonale restent perpendiculaires deux à deux. L'axe ternaire et la grande diagonale resteront des axes possibles de symétrie apparente, en même temps qu'ils seront, le premièr un axe sénaire de groupement, et la seconde un axe binaire de groupement. Le cristal, quoique monoclinique, paraîtra donc orthorhombique, et cette symétrie orthorhombique pourra s'obtenir par un groupement, que les caractères optiques ne pourront déceler, puisque les cristaux groupés seront symétriquement orientés par rapport à des axes de symétrie de l'ellipsoïde d'élasticité.

Mais il est un cas particulièrement intéressant, c'est celui où la distance des plans réticulaires normaux à l'axe ternaire est égale à celle des plans réticulaires normaux à l'axe

binaire. Dans un réseau ternaire, il y a deux plans réticulaires normaux entre deux nœuds de l'axe ternaire, et un seul entre deux nœuds de l'axe binaire. Si donc on désigne par d la distance commune des plans réticulaires, les paramètres de la grande diagonale, de l'axe binaire et de l'axe ternaire, seront respectivement :

$$2d\sqrt{3} : 2d : 3d.$$

Le rapport du paramètre de l'axe ternaire à celui de la grande diagonale est donc $\frac{3d}{2d\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$; si ce rapport était égal à $\sqrt{3}$, l'axe binaire serait aussi un axe ternaire; par suite du facteur $\frac{1}{2}$, cet axe binaire est simplement un axe ternaire de symétrie apparente.

On voit donc que dans ce cas :

L'axe ternaire peut être un axe binaire de symétrie apparente;

L'axe binaire peut être un axe ternaire de symétrie apparente;

La grande diagonale peut être un axe quaternaire de symétrie apparente.

Remarquons de suite que la grande diagonale pourra d'autant plus facilement être prise pour un axe quaternaire que les rapports de son paramètre aux paramètres des deux autres axes sont : $\frac{2\sqrt{3}}{3}$, $\sqrt{3}$, et que, par conséquent, en multipliant soit le premier par $\frac{3}{2}$, soit le second par $\frac{2}{3}$, on obtiendra le même nombre par ces deux rapports.

Le tableau suivant donne les angles de deux faces parallèles à l'un des axes et symétriques par rapport aux deux

plans passant par cet axe et l'un des deux autres. Les caractéristiques sont prises par rapport aux trois axes, la grande diagonale étant l'axe des x, l'axe binaire l'axe des y, et l'axe ternaire l'axe des z.

Faces de la zone ayant pour axe l'axe ternaire.

	Angles sur l'axe binaire	Angles sur la grande diagonale
(110) ($\bar{1}$10)	120°	60°
(210) ($\bar{2}$10)	81° 48′	98° 12′
(120) ($\bar{1}$20)	147° 48′	32° 12′
(310) ($\bar{3}$10)	60°	120°
(130) ($\bar{1}$30)	158° 12′	21° 48′
(320) ($\bar{3}$20)	98° 12′	81° 48′
(230) ($\bar{2}$30)	137° 54′	42° 6′

Faces de la zone ayant pour axe l'axe binaire.

	Angles sur l'axe ternaire	Angles sur la grande diagonale
(101) ($\bar{1}$01)	98° 12′	81° 49′
(201) ($\bar{2}$01)	60°	120°
(102) ($\bar{1}$02)	133° 10′	46° 50′
(301) ($\bar{3}$01)	42° 6′	137° 34′
(103) ($\bar{1}$03)	147° 48′	32° 12′
(302) ($\bar{3}$02)	75° 50′	104° 50′
(203) ($\bar{2}$03)	120°	60°
(401) ($\bar{4}$01)	32° 12′	147° 48′
(403) ($\bar{4}$03)	81° 48′	98° 12′
(803) ($\bar{8}$03)	46° 50′	133° 10′

Faces de la zone ayant pour axe la grande diagonale.

	Angles sur l'axe ternaire	Angles sur l'axe binaire
(011) $(0\bar{1}1)$	67° 24′	112° 36′
(021) $(0\bar{2}1)$	36° 52′	143° 8′
(012) $(0\bar{1}2)$	106° 16′	73° 44′
(031) $(0\bar{3}1)$	25° 4′	154° 56′
(013) $(0\bar{1}3)$	126° 52′	53° 8′
(032) $(0\bar{3}2)$	47° 56′	132° 4′
(023) $(0\bar{2}3)$	90°	90°

Dans ce tableau, on a souligné les caractéristiques des faces susceptibles d'être des plans de macles, soit que ces faces fussent réellement des plans limites, soient qu'elles fussent perpendiculaires sur un plan limite passant par un axe binaire.

De la considération de ce tableau résultent plusieurs conséquences intéressantes à signaler. Et d'abord les angles des faces de la zone ayant pour axe la grande diagonale sont précisément ceux que l'on rencontre dans un cristal quadratique pour les faces parallèles à l'axe quaternaire.

En second lieu, les mêmes angles se retrouvent dans les deux autres zônes. Bien plus, les plans de macle (001), $(\bar{3}10)$, (100), (110) de la première font entre eux les mêmes angles de 90° et de 120° que les plans de macle (001), $(\bar{2}01)$, (100), (203) de la deuxième zone.

Si les particules complexes se disposant suivant les nœuds de ce réseau sont ternaires, le cristal sera lui-même ternaire et ne présentera rien de particulier; mais si ces particules sont légèrement déformées, il en pourra résulter, pour le réseau, une déformation telle que le rapport des paramètres de l'axe ternaire et de l'axe binaire soit encore

égal à 3/2. Dans ce cas, l'axe ternaire ne sera plus qu'un axe de groupement, et la grande diagonale sera susceptible d'être un axe quaternaire de symétrie apparente. Les faces de notation (001) et (010) donneront naissance à un prisme quadratique, et les faces (310), ($\bar{3}$10), (201), ($\bar{2}$01) formeront un octaèdre quadratique, dont l'angle au sommet sera environ de 120°, dont les faces, à l'exception de (201), seront des plans de macle. En outre les faces (310), ($\bar{3}$10) coupent la face ($\bar{2}$01) suivant deux arêtes qui sont des axes quaternaires de groupements ; car, en rapportant ces faces aux arêtes de la forme primitive, on leur trouve pour notation respectivement (10$\bar{1}$), (0$\bar{1}$1), (001). Les deux arêtes de l'octaèdre sont donc précisément deux arêtes de la forme primitive, c'est-à-dire deux axes de groupement quaternaire.

Dans ce qui précède, pour me conformer à la définition de la symétrie apparente, j'ai dû supposer que la forme primitive se confondait avec la maille du réseau ; à cette condition seule, en effet, un plan réticulaire quelconque est ramené en coïncidence avec un autre plan réticulaire. Mais il en résulte, pour la maille du réseau, une assez forte déformation, plus forte que celle observée dans la majeure partie des cristaux. Si, au contraire, on admet que la symétrie apparente autour d'une rangée puisse se produire quand, par une rotation, un plan réticulaire quelconque est amené à être parallèle à un autre plan réticulaire, il est possible de présenter les considérations précédentes d'une façon un peu différente. Si, en effet, la forme primitive du cristal rentre dans le type $\frac{5\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$, le paramètre de l'axe ternaire du réseau est voisin de $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = 1,224$. En particulier s'il est égal à $1,200 = \frac{6}{5}$, le paramètre de la forme primitive sera 3/2, autrement dit la

maille du réseau sera voisine d'un rhomboèdre de 90° 47′ et la forme primitive sera voisine d'un rhomboèdre de 82° 50′. Dans ces conditions, tout ce qui a été dit précédemment se rapportera exclusivement à la forme primitive.

Rutile. — Le Rutile est un exemple frappant du cas qui vient d'être examiné. Ce minéral, au lieu d'être quadratique, comme on l'admet généralement, est, en réalité, un édifice monoclinique quasit ernaire, l'axe ternaire étant l'un des axes considérés comme binaires. Le soi-disant axe quaternaire n'est qu'un axe de symétrie apparente et coïncide dans le réseau avec la grande diagonale de la maille dont le plan est perpendiculaire sur l'axe ternaire. L'autre axe binaire du Rutile est bien un axe binaire, en ce sens qu'il est à la fois un axe binaire du réseau et de la particule complexe.

Il y a bien longtemps que l'on a constaté l'association du Rutile avec des cristaux ternaires ou quasi ternaires et, dans ces associations, les deux espèces minérales ont une orientation déterminée l'une par rapport à l'autre. C'est ainsi que les cristaux de Rutile sont fréquemment associés à la Chlorite, à la Biotite, l'axe considéré comme quaternaire étant parallèle à la base hexagonale de ces minéraux et perpendiculaire sur l'un quelconque des côtés. Mais c'est surtout l'association du Rutile et du fer oligiste qui est bien connue : signalée par Breithaupt, elle a été étudiée par G. vom Rath dans le tome premier du *Zeitschrift für Krystallographie und Mineralogie*. Sans d'ailleurs tirer aucune conclusion de ses résultats, vom Rath compara les angles des faces dans les deux minéraux.

Les cristaux de Rutile, présentant en particulier les faces du prisme (100) et celles de l'octaèdre (101), sont implantés sur des tables hexagonales de fer oligiste de façon qu'une de leur face (100) soit appliquée sur la face (0001) du second minéral et que leurs axes soient perpendiculaires aux arêtes

(0001) (10$\bar{1}$1) de ce dernier. Dans certains cas, à ces cristaux s'en ajoutent d'autres, orientés à 60°, et dont les axes sont perpendiculaires sur les arêtes (0001) (01$\bar{1}$1) du fer oligiste. Considérons l'un des premiers, ses faces (010), parallèles à l'axe ternaire du fer oligiste, coïncident avec un plan de symétrie de celui-ci, une face (101) de l'octaèdre, faisant avec (100) et, par suite, avec (0001) un angle de 122° 47′, coïncide sensiblement avec la face ($\bar{1}$011) du fer oligiste, qui fait avec (0001) un angle de 122° 23′, tandis que la face ($\bar{1}$01) coïncide à peu près avec la face (0$\bar{1}$11). De même une face de l'octaèdre (221) du Rutile se trouve à peu près dans le prolongement de l'une des faces de l'isocéloèdre (22$\bar{4}$3), car ces faces font respectivement avec (0001) des angles égaux à 118° 46′ et 118° 26′. La concordance est un peu moins nette pour d'autres faces; c'est ainsi que les faces de l'octaèdre (011) et (0$\bar{1}$1), qui passent par l'axe ternaire, font avec la face (010) appartenant à la même zone des angles de 57° 13′, tandis que, dans le fer oligiste, les deux plans de symétrie qui leur correspondent font avec la même face des angles de 60°.

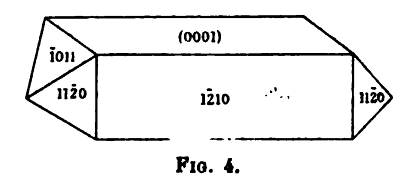


FIG. 4.

La relation des faces des deux minéraux est d'ailleurs exprimée dans la figure ci-jointe (*fig.* 4) représentant un cristal de Rutile dont les faces portent la notation des faces correspondantes du fer oligiste; on peut également l'exprimer de la façon suivante en prenant pour axe de coordonnée

dans le système rhomboédrique, au lieu de trois axes binaires, un axe binaire et la grande diagonale perpendiculaire.

Rutile	Fer oligiste	
(100)	(0001) =	(001)
(010)	$(1\bar{2}10)$	(010)
(101)	$(\bar{1}011)$	$(\bar{2}01)$
$(0\bar{1}1)$	$(\bar{1}\bar{1}20)$	(310)

De cette concordance entre les angles, il résulte que les réseaux des deux minéraux doivent être très voisins et que, par suite, le soi-disant axe binaire du Rutile parallèle à l'axe ternaire du fer oligiste doit être, en réalité, un axe ternaire approché du réseau et, par suite, un axe de même ordre de la particule complexe. Cet axe doit donc être un axe de groupement d'ordre 3 et, en effet, les cristaux associés au fer oligiste, à la Chlorite, etc., ne sont pas toujours indépendants les uns des autres. Fréquemment ils se pénètrent et forment des groupements de deux, de trois cristaux à 60 ou 120 degrés l'un de l'autre. Cette association a été décrite sous le nom de Sagénite.

En second lieu, trois des faces de l'octaèdre ayant pour notation (101), $(0\bar{1}1)$, (011) doivent être des plans limites et, par suite, des plans de groupements. Or chacun sait que la macle la plus fréquemment observée chez le Rutile a pour plan d'association une des faces de l'octaèdre. Bien plus, si, en général, les macles se répètent plusieurs fois, de façon que les axes soi-disant quaternaires des cristaux soient dans un même plan, cela tient à ce que la face (101) n'est pas un plan de macle au même titre que les deux autres, qui, au contraire, ont la même valeur à ce point de vue.

En troisième lieu, le plan réticulaire passant par l'axe

ternaire et faisant avec le plan (011) un angle voisin de 30° doit être un plan limite, c'est-à-dire un plan de groupement. Or on connaît une macle suivant le plan désigné habituellement par la notation (301), qui fait avec le plan (011) un angle de 29° 51'.

En quatrième lieu, les arêtes d'intersection des faces ($\bar{2}01$), (310) c'est-à-dire deux des arêtes de l'octaèdre (101) doivent être des axes quaternaires de groupement, et, en effet, ce groupement a été indiqué à plusieurs reprises. G. Rose a observé un échantillon de Grave's Mountain formé de huit secteurs assemblés autour d'un axe parallèle à une arête culminante de l'octaèdre (101); cet assemblage, représenté (*fig.* 5), donne une sorte de scalénoèdre à 16 faces, dont

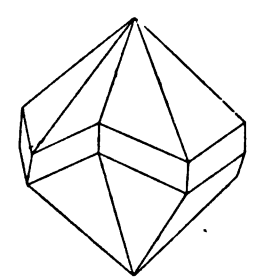


Fig. 5.

chaque pyramide octogonale est composée de faces (100) se coupant sous un angle de 114° 30' et dont les arêtes en zigzag sont tronquées par la face (110).

D'autre part von Rath décrit un groupement de huit cristaux provenant de Magnet Cove. Les cristaux sont disposés symétriquement autour de la même arête, mais ne portent que les faces (120) (*fig.* 6).

M. Hautefeuille a reproduit artificiellement ce groupement. L'acide titanique amorphe, chauffé à une température voisine de 1.000° dans un bain de tungstate de soude, est atta-

qué par ce sel, et l'on constate, après plusieurs heures d'action du tungstate, la formation de petits prismes colorés en bleu par le sesquioxyde de titane. Ces cristaux prisma-

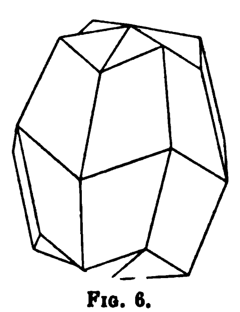


Fig. 6.

tiques sont des édifices cristallins complexes ; ils présentent sur leurs faces les stries en zigzag de la macle décrite par G. Rose. Ces cristaux (*fig.* 7) ne portent généralement que

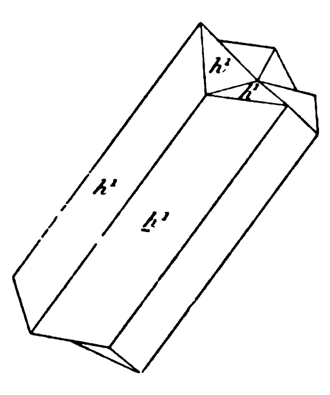


Fig. 7.

les faces (110). Une section perpendiculaire sur l'axe du groupement montre huit secteurs triangulaires s'éteignant parallèlement à leur base.

Enfin, en faisant agir de l'acide chlorhydrique sous une pression de trois atmosphères sur de l'acide titanique amorphe, renfermé dans un tube dont la température varie d'une extrémité à l'autre entre 500 et 700°, M. Hautefeuille a obtenu une quatrième forme de cette macle. Ces cristaux, de très petites dimensions, affectent la forme de prismes

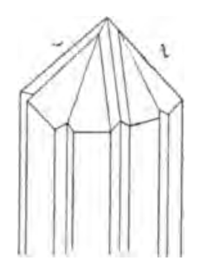


Fig. 8.

octogonaux (*fig.* 8), terminés par les faces d'un octaèdre. Entre deux de celles-ci se trouve une cannelure formée de deux petites facettes et se continuant le long du prisme. De plus, chaque face de l'octaèdre présente en son milieu une ligne de suture très nette se continuant également sur le prisme par une cannelure.

Du mode d'association du Rutile avec le fer oligiste d'une part, de ces groupements de l'autre, il résulte donc, d'une façon absolument concluante, que le réseau du Rutile n'est pas quadratique. Au contraire un des axes soi-disant binaire est un axe quasi ternaire, l'autre axe binaire est bien un axe binaire, et le soi-disant axe quaternaire est la grande diagonale de la maille losangique perpendiculaire sur l'axe ternaire. Dans les formes cristallines, l'apparence quadratique est possible, grâce à ce fait que, par rotation égale à $\frac{\pi}{4}$ autour de cette grande diagonale, un plan réticulaire

vient coïncider avec un autre plan réticulaire ou tout au moins vient prendre une position parallèle à celle d'un autre plan réticulaire. Le Rutile est donc tout au plus monoclinique.

Quant aux paramètres, on doit, comme d'habitude, les rapporter à l'axe binaire. Celui de l'axe ternaire est alors égal à $\frac{3}{2} = 1,5$, puisque la distance des plans réticulaires perpendiculaires sur l'axe ternaire est égale à celle des plans perpendiculaires sur l'axe binaire.

Quant au paramètre de la grande diagonale, il est égal à 3 tang 32° 47′ 16″ $= 1,9325$.

Les paramètres du réseau, en admettant que sa maille ne se confonde pas avec la forme primitive, sont :

$$1,9325 : 1 : 1,2$$

Le réseau du Rutile est donc monoclinique ; mais le Rutile est lui-même mériédrique ; car, comme on le sait, on a rencontré des cristaux qui ne présentaient pas les mêmes formes cristallines aux deux extrémités de l'axe quaternaire apparent. Il est même probable que c'est cette mériédrie qui, au point de vue cristallographique, distingue le Rutile de l'Anatase. Mais, comme on ne connaît aucun groupement de ce dernier minéral, il est fort difficile d'être affirmatif sur ce point.

Explication de la symétrie apparente. — Une rangée, avons-nous dit, est un axe de symétrie apparente, lorsque les faces cristallines se reproduisent symétriquement par rapport à elles, lorsqu'elle est un axe de symétrie de même ordre pour l'ellipsoïde d'élasticité optique, sans être cependant un axe de symétrie du même ordre dans le réseau, et, par suite, dans la particule complexe. Pour que cette symétrie soit réalisée, le réseau doit satisfaire à une condition : des plans réticulaires non identiques doivent se repro-

duire symétriquement par rapport à la rangée considérée ; mais c'est là une conséquence et non la cause de la symétrie apparente, qui doit être recherchée dans la nature de la particule complexe.

Dans l'état actuel de la science, il nous est impossible de remonter jusqu'à la cause première ; mais nous sommes à même de faire faire un pas à la question, grâce à l'observation de certains faits. C'est ainsi que les rangées qui jouent, dans certains cas, le rôle d'axe de symétrie apparente, sont précisément celles qui, dans un cristal cubique, sont des axes de groupement sans être susceptible de devenir des éléments de symétrie de même ordre dans la particule complexe, c'est-à-dire les axes ternaires et les normales aux faces du trapézoèdre (211). La tendance à se grouper suivant ces droites varie d'une espèce minéralogique à l'autre ; elle est très marquée chez certaines, qui présentent presque toujours ces groupements. C'est là un fait qui ne peut s'expliquer que d'une façon ; en admettant que la particule complexe exerce sur les milieux extérieurs des actions à peu près identiques dans deux orientations symétriques par rapport à ces axes. Nous sommes donc tout naturellement amenés à concevoir le cas où ces actions diffèrent si peu que l'influence de ces différences sur les rapports du corps cristallisé avec les milieux extérieurs disparaisse.

Or, si les éléments de symétrie de la particule complexe se retrouvent dans les formes cristallines, cela provient, comme l'a montré Bravais, de ce que le corps cristallisé, possédant cet élément de symétrie, exerce, par cela même, des actions symétriquement égales sur le milieu cristallogène. De même, l'élément de symétrie de la particule complexe se retrouve dans l'ellipsoïde d'élasticité optique, parce que le corps cristallisé modifie, d'une façon symétrique, l'élasticité de l'éther.

Mais, puisque nous avons été amenés à attribuer à un axe ternaire ou à une rangée [211], les propriétés mécaniques d'un élément de symétrie, le résultat doit être le même pour eux, et ces éléments de symétrie mécanique doivent se retrouver dans les formes cristallines et dans l'ellipsoïde d'élasticité optique.

Mais alors une question se pose subsidiairement ; on est en droit de se demander si, dans un tel édifice cristallin, toutes les particules complexes sont parallèles, ou si elles ne prennent pas indifféremment les positions symétriques ; c'est là une question à laquelle il est impossible de répondre d'une façon absolue, puisque nous ne pouvons connaître de la structure du corps cristallisé que par ses actions sur les milieux extérieurs, et que, dans les deux cas, les effets sont identiques. Mais cependant on peut faire remarquer qu'admettre une orientation différente pour les particules complexes disposées suivant un même réseau, c'est attribuer au corps cristallisé une structure toute spéciale, échappant à la définition d'homogénéité, inconvénient que ne présente pas la première hypothèse.

Nous sommes donc, en définitive, amenés à cette conclusion générale :

Tous les éléments de symétrie limite d'une particule complexe quasi cubique sont susceptibles de se retrouver comme éléments de symétrie réelle ou apparente dans les corps cristallisés. Bien entendu, ils ne peuvent tous coexister simultanément ; certains s'excluent : un axe sénaire de symétrie apparente, par exemple, excluera les axes quaternaires et les autres axes ternaires.

Mais un axe sénaire ne sera jamais qu'apparent et si l'on base la distinction des systèmes cristallins sur la nature du réseau, on doit rejeter d'une façon définitive le sytème hexagonal.

NOTATIONS DES ÉLÉMENTS DE GROUPEMENTS
DANS LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES CRISTALLINS.

Système cubique. — Comme j'ai eu déjà l'occasion de le rappeler, dans un cristal holoédrique de ce système, les éléments de groupements sont les suivants :

Les faces susceptibles d'être des plans de macle sont celles :

1° De l'octaèdre (111) ;
2° Du trapézoèdre (211).

Les axes sont :

1° Les axes ternaires [111] comme axes binaires ;
2° Les rangées [211] normales aux faces du trapézoèdres, également comme axes binaires.

Dans les cristaux mériédriques à ces éléments, s'ajoutent les éléments du réseau déficients à la particule complexe.

Système quadratique. — Nous prendrons, comme axe vertical, l'axe quaternaire, et, pour axes horizontaux, les deux axes binaires correspondant aux axes quaternaires. La forme primitive est un prisme quadratique dont les faces sont perpendiculaires sur les axes précédents et non à 45°, comme on les choisit habituellement.

Les cristaux peuvent se grouper symétriquement par rapport aux faces :

1° De l'octaèdre b^1 (011) ;
2° De l'octaèdre a^1 (111) ;
3° De l'octaèdre a^2 (112) ;
4° Du dioctaèdre ($b^1 b^{1/2} h^1$) (211).

Les rangées susceptibles d'être des axes de groupement sont les suivantes :

1° Les rangées [100], [010], autour desquelles deux cristaux peuvent être orientés à 90° ;
2° Les rangées [111], qui peuvent être des axes binaires et des axes ternaires ;
3° Les quatre rangées [011], qui peuvent être des axes binaires ;
4° Les quatre rangées [112], qui peuvent être des axes binaires ;
5° Les huit rangées [121], qui peuvent être des axes binaires.

Bien entendu, dans les cristaux mériédriques, les éléments de symétrie disparus peuvent s'ajouter aux précédents, comme éléments de groupement.

Système ternaire. — Si on prend, comme axe de coordonnées, l'axe ternaire et trois axes binaires perpendiculaires, les faces de groupement seront les faces :

1° Du rhomboèdre $(10\bar{1}1)$;
2° Du rhomboèdre $(01\bar{1}2)$;
3° Du rhomboèdre $(02\bar{2}1)$;
4° Du rhomboèdre $(10\bar{1}4)$;
5° Du prisme $(01\bar{1}0)$;
6° Du scalénoèdre $(12\bar{3}2)$;

Les axes de groupement possibles seront les rangées :

1° $[\bar{2}111]$, comme axes quaternaires ;
2° $[0001]$, comme axe binaire ;
3° $[4\bar{2}\bar{2}1]$, comme axes binaires et axes ternaires ;
4° $[\bar{1}2\bar{1}2]$, comme axes binaires ;
5° $[3\bar{3}40]$, comme axes binaires ;
6° $[\bar{4}5\bar{1}2]$, comme axes binaires ;

Ces caractéristiques se déduisent de celles rapportées aux arêtes de la forme primitive au moyen des formules suivantes :

Pour les plans, on a :

$$\begin{aligned} q' &= q - r \\ r' &= r - s \\ t' &= s - q \\ s' &= q + r + s \end{aligned}$$

et pour les rangées :

$$\begin{aligned} m' &= -2m + n + p \\ n' &= m - 2n + p \\ o' &= m + n - 2p \\ p' &= m + n + p \end{aligned}$$

A ces éléments s'ajouteront les éléments de symétrie du réseau déficients à la particule complexe.

Système orthorhombique. — Dans ce système, il y a deux cas à considérer, les trois axes binaires pouvant représenter les trois axes quaternaires d'un cristal cubique, ou bien un seul des axes binaires représentant un axe quaternaire, les deux autres étant homologues de deux axes binaires du cristal cubique.

Dans le premier cas, la forme primitive est un prisme droit à base rectangulaire, et les paramètres sont sensiblement égaux à 1.

Dans le second, la forme primitive est un prisme droit à base losangique, dont l'angle est voisin de 90°, et si l'on prend pour axe vertical l'axe correspondant à l'axe quaternaire, son paramètre est sensiblement égal à $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$, les paramètres des deux autres axes étant égaux à l'unité.

Dans le premier cas, les éléments de groupement ont même notation que dans le système quadratique; les seules différences à signaler consistent en ce que : 1° le dioctaèdre (221) se décompose en deux octaèdres; 2° les plans (110) et les rangées [110] sont susceptibles de devenir des éléments de groupements.

Dans le second cas, les notations changent et, pour les obtenir, il faut remplacer les caractéristiques q, r des faces par les valeurs q' et r', telles que $q' = q + r$, $r' = q - r$ et les caractéristiques m, n des rangées par les valeurs :

$$m' = m - n \qquad \text{et} \qquad n' = m + n.$$

Système monoclinique. — Il n'y a plus lieu, dans ce système de donner les caractéristiques des éléments de groupement, puisqu'il n'y a plus qu'un axe de coordonnées qui soit déterminé, l'axe binaire; les deux autres pouvant varier d'un grand nombre de façons, il y aurait ainsi un trop grand nombre de cas à examiner. Il est, cependant, un cas particulier qui se retrouve fréquemment, celui d'un cristal monoclinique de symétrie apparente orthorhombique. Les deux axes binaires de symétrie apparente sont un axe quasi ternaire et la normale au plan passant par cet axe quasi ternaire et l'axe binaire. Nous prendrons cette normale pour axe des x, l'axe binaire pour axe des y, l'axe quasi ternaire pour axe vertical.

Les caractéristiques se déduiront de celles relatives aux axes quaternaires au moyen des relations :

$$\begin{aligned} q' &= q + r - 2s \\ r' &= r - q \\ s' &= q + r + s. \end{aligned}$$

On déduit ainsi :

1° Des faces du cube :

$$(1\bar{1}\bar{1}),\ (111)\ (\bar{2}01)\ ;$$

2° Des faces du rhombododécaèdre :

$$(101), (11\bar{2}), (\bar{1}12), (010), (3\bar{1}0), (310)\ ;$$

3° Des faces de l'octaèdre :

$$(001), (\bar{2}21), (22\bar{1}), (401)\ ;$$

4° Des faces du trapézoèdre :

$$(1\bar{1}4), (\bar{1}02), (114), (\bar{1}10), (\bar{1}00), (110), (1\bar{3}\bar{2}),$$
$$(1\bar{3}\bar{2}), (\bar{2}11), (21\bar{1}), (512), (5\bar{1}2).$$

Toutes ces faces étant deux à deux symétriques par rapport au plan de symétrie (010).

Système triclinique. — Aucun des axes n'étant déterminé, il n'y a pas lieu d'examiner ici tous les cas particuliers susceptibles de se présenter dans la pratique.

Mais, bien entendu, dans tous les systèmes, les angles que font entre eux les plans de macles varient suivant le type de la forme primitive du corps cristallisé.

DEUXIÈME PARTIE.

DÉTERMINATION DES CONSTANTES CRISTALLOGRAPHIQUES.

Dans cette seconde partie de mon travail, je me propose d'appliquer les résultats précédents à la détermination

rationnelle des constantes cristallographiques des cristaux les plus connus.

Il s'agit de déterminer, par l'examen des groupements, la nature de la forme primitive et de calculer ses paramètres.

La connaissance des groupements est indispensable pour reconnaître la forme primitive; sans eux, on ne peut que faire des suppositions souvent très justifiées, sans doute, mais toujours sujettes à caution. Or bien peu nombreux sont les corps dont les groupements ont été étudiés avec soin. On a toujours jusqu'ici considéré les associations de cristaux comme n'ayant qu'un intérêt secondaire, sans portée théorique; aussi bien souvent les éléments font défaut pour atteindre le résultat cherché. On peut jusqu'à un certain point appliquer la méthode employée jusqu'ici, c'est-à-dire s'appuyer sur la fréquence de certaines faces; mais la détermination, dans ce cas, manque de rigueur, et il faut s'attendre à ce que l'observation des groupements vienne modifier les conclusions adoptées.

Dans la première partie de ce travail, j'ai été amené à distinguer trois types de formes primitives différant peu de rhomboèdres dont les axes ternaires ont respectivement pour paramètres :

$$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}, \qquad \frac{2}{3}\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}, \qquad \frac{5}{4}\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}.$$

et que je désignerai par les qualificatifs de type disthène, type calcite et type diopside.

Il est fort probable qu'il en existe d'autres; mais une étude plus approfondie des groupements pourra seule nous les révéler. Je suis donc obligé, pour le moment, de m'en tenir à ces trois types, entre lesquels je répartirai les cristaux que je vais étudier. Dans chacun des groupes ainsi définis par la forme primitive, je distinguerai les différents sys-

tèmes cristallins d'après la symétrie du *réseau*, en réunissant dans chacun des systèmes les cristaux qui possèdent une symétrie apparente plus élevée. Ainsi le Rutile a une forme primitive quasi cubique, une symétrie monoclinique et une symétrie apparente quadratique.

Bien entendu, ce n'est pas une classification de cristaux que je propose ; j'indique simplement l'ordre suivi dans l'exposition des résultats.

CRISTAUX DU TYPE DISTHÈNE.

Système cubique.

Tous les cristaux cubiques holoédriques ou à mériédrie élevée rentrent évidemment dans ce type, et l'observation nous apprend qu'il en est de même des cristaux ayant un réseau cubique et présentant une mériédrie restreinte, telle que la Boracite. Il n'y a donc rien de particulier à dire sur ce système.

Système quadratique.

Tous les cristaux ayant un réseau quadratique possèdent également une forme primitive qui se rapproche du cube. Il n'en peut être autrement, puisque les dièdres de cette forme primitive sont égaux à 90°. Ces cristaux sont d'ailleurs très peu nombreux, la plupart de ceux que l'on considère comme quadratiques n'ayant qu'une symétrie quaternaire apparente.

Voyons d'abord quels sont les angles que doivent faire sensiblement les faces de groupement.

La face p (001) doit faire, avec ces faces, des angles de

valeurs voisines de celles données ci-dessous :

avec l'octaèdre b^1 (011)	135°
avec l'octaèdre a^1 (111)	125° 16′
avec l'octaèdre a^2 (112)	144° 44′
avec le dioctaèdre $b^1 b^{1/2} h^1$ (211)	114° 6′

Chalcopyrite. — Ce minéral est hémiaxe dichosymétrique, c'est-à-dire que ses éléments de symétrie sont Λ^2, $2L^2$, $2P'$.

Le paramètre de l'axe vertical est : 0,98525.

Ses éléments de groupement sont :

1° a^1 (111) faisant avec p (001) un angle de 125° 40′ au lieu de 125° 16′;

2° b^1 (011) faisant avec p (001) un angle de 134° 26′ au lieu de 135°;

3° L'axe Λ^2, autour duquel deux cristaux s'orientent à 90°.

Braunite. — Le paramètre de l'axe vertical est égal à 0,9850.

Les éléments de groupement sont :

b^1 (101) faisant avec p (001) un angle de 135° 26′ au lieu de 135°;

a^1 (111) faisant avec p (001) un angle de 125° 41′ au lieu de 125° 16′.

Chiolite ($5NaFl3AlFl^3$). — Le paramètre de l'axe vertical est égal 1,0418.

Un seul plan de macle connu, le plan a^1 (111), tel que l'angle $a^1 a'^1$ = 108° 23′ au lieu de 109° 28′.

Wulfenite. — Ce minéral ne possède qu'un axe quaternaire, et le paramètre de cet axe est égal à 1,57710. Mais la forme primitive a été choisie d'une façon tout à fait arbitraire, et il est facile de montrer que le réseau de cette substance est sensiblement cubique.

Remarquons, en effet, que la face (101), choisie arbitrairement pour définir la forme primitive, fait avec la face (001)

un angle de 57° 37′ 20″, c'est-à-dire un angle très voisin de l'angle 57° 41′ que fait, dans un cristal cubique, la face (312) avec la face (001). Si, conservant le même axe vertical, on prend pour axes dans le plan perpendiculaire deux rangées rectangulaires telles que la face (101) ait pour notation (312), on trouve sans difficulté que les caractéristiques habituelles q', r', s' sont reliées aux caractéristiques q, r, s, relatives aux nouveaux axes par les égalités :

$$\begin{aligned} q' &= 3q + r \\ r' &= q - 3r \\ s' &= 5s \end{aligned}$$

Il est ainsi facile de calculer les paramètres des faces par rapport aux nouveaux axes, et d'établir le tableau suivant, dans lequel la première colonne donne les caractéristiques habituelles des faces, la seconde leur angle dans la Wulfenite, la troisième leur caractéristique dans le nouveau système d'axe, et la quatrième, l'angle des faces déterminées par ces caractéristiques dans un cristal cubique.

Octaèdre	(101) (011)	73° 20′	(312) ($\bar{1}$32)	73° 24′
	(101) ($\bar{1}$01)	115° 15′	(312) ($\bar{3}\bar{1}$2)	115° 23′
Octaèdre	(111) ($\bar{1}$11)	80° 22′	(211) ($\bar{1}$21)	80° 24′
	(111) ($\bar{1}\bar{1}$1)	131° 42′	(211) ($\bar{2}\bar{1}$1)	131° 29′
Octaèdre	(113) ($\bar{1}$13)	49° 54′	(123) (2$\bar{1}$3)	49° 59′
	(113) ($\bar{1}\bar{1}$3)	73° 15′	(123) ($\bar{1}\bar{2}$3)	73° 24′
Octaèdre	(102) (012)	51° 56′	(314) ($\bar{1}$34)	52° 1′
	(102) ($\bar{1}$02)	76° 31′	(314) ($\bar{3}\bar{1}$4)	76° 39′
	(001) (101)	65° 51′	(001) (211)	65° 54′
	(001) (101)	57° 37′	(001) (312)	57° 41′
	(001) (102)	38° 15′	(001) (314)	38° 20′

Les différences, comme on le voit, ne sont que de quelques minutes, et les formes cristallines de la Wulfenite devront être considérées comme des formes obliques mériédriques d'un cristal sensiblement cubique.

Quant au paramètre de l'axe vertical rapporté au nouvel axe horizontal, il est égal à $\sqrt{\frac{2}{5}}$ tg 57° 37′ 20″, c'est-à-dire à 0,99745. On voit qu'il s'en faut de très peu que le réseau soit réellement cubique.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que le prisme quadratique pris habituellement comme forme primitive a, en réalité, pour notation $(2\bar{1}0)$.

Le même type cristallin se retrouve dans la

Scheelite,	dont le paramètre est :		0,97122
Gowellite	—	—	0,97680
Fergusonite	—	—	0,92609
Sipylite	—	—	0,93394

Système ternaire.

Dans le type que nous étudions maintenant, les angles caractéristiques des formes cristallines dont les faces sont susceptibles d'être des plans de macles, doivent avoir des valeurs voisines de celles indiquées ci-dessous :

$$(10\bar{1}1)\,(0\bar{1}11) = 90°$$
$$(01\bar{1}2)\,(1\bar{1}02) = 120°$$
$$(02\bar{2}1)\,(\bar{2}201) = 70°\,32'$$
$$(10\bar{1}4)\,(0\bar{1}14) = 146°\,27'$$
$$(01\bar{1}0)\,(1\bar{1}00) = 120°$$
$$(12\bar{3}2)\,(21\bar{3}2) = 160°\,49'$$
$$(12\bar{3}2)\,(\bar{3}212) = 96°\,23'$$

Le paramètre de l'axe vertical doit être voisin de $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = 1.224$; il est le même pour la forme primitive et la maille du réseau.

Cristaux ternaires à symétrie apparente sénaire.

Wurtzite. — Considéré comme hexagonal hémimorphique. Mais la Blende cubique se transforme en Wurtzite par la chaleur ; son réseau est donc cubique et non hexagonal.

Le paramètre habituellement donné est 0,81747 ; en réalité, il est égal à 1,22620, et la forme primitive est un rhomboèdre de 89° 56′.

Greenockite. — Le paramètre est égal à 1,21636, et la forme primitive est un rhomboèdre de 90° 16′.

Iodargyrite. — Ce minéral est considéré comme hexagonal hémimorphique avec c = 0,81960. Mais il présente des macles suivant les faces du rhomboèdre $(30\bar{3}4)$, dont l'angle est égal à 119° 50′ et, par suite, assimilable au rhomboèdre de 120° du système cubique, ayant pour notation $(10\bar{1}2)$. On est donc amené à multiplier le paramètre vertical par $\frac{3}{2}$. Il devient ainsi égal à 1,2294, et la forme primitive est un rhomboèdre de 89° 51′.

Béryl. — Considéré comme hexagonal avec c=0,49885. Mais cette valeur du paramètre est obtenue en prenant non pas le paramètre de l'axe binaire pour unité, mais celui de la rangée perpendiculaire. Le paramètre est, en réalité, égal à $0,49885 \times \sqrt{3} \times \frac{3}{2} = 1,29606$, et on a ainsi :

$(0001)\ (10\bar{1}2)$ =	36° 48′ au lieu de	35° 15′
$(0001)\ (20\bar{2}1)$ =	71° 31′	70° 32′

Apatite. — Considéré comme hexagonal hémimorphe, avec $c = 0,734603$ et se maclant suivant la face $(11\bar{2}1)$. Mais, en réalité, le paramètre vertical est rapporté non pas à l'axe binaire, mais à la normale à cette axe, et le paramètre véritable est $0,734603 \times \sqrt{3} = 1,2724$. Le plan de macle prend pour symbole $(10\bar{1}1)$ et appartient à la forme primitive, rhomboèdre de 88° 34'.

Cristaux ternaires proprement dits.

Tellure : $(10\bar{1}1)\,(0\bar{1}11) = 86°\,57'$, $c = 1,3298$.

Arsenic, $(10\bar{1}1)\,(0\bar{1}11) = 85°\,6'$, $c = 1,4013$. — Macle suivant $(01\bar{1}2)$.

Antimoine $(10\bar{1}1)\,(0\bar{1}11) = 87°\,7'$, $c = 1,32362$. — Même macle suivant (0112).

Bismuth $(10\bar{1}1)\,(0\bar{1}11) = 87°\,40'$, $c = 1,3036$. — Même macle.

Hématite $(10\bar{1}1)\,(0\bar{1}11) = 86°$, $c = 1,36557$. — Macle suivant les faces (0001), $(10\bar{1}1)$, $(01\bar{1}0)$.

Corindon : 86° 4', $c = 1,3630$. — Mêmes macles que le précédent.

Ilménite : 85° 31', $c = 1,3846$. — Mêmes macles que le précédent.

Mélanocérite : 89° 4', $c = 1,25537$.

Phénacite. — Le paramètre proposé habituellement est égal à 0,66107. Mais le rhomboèdre $(02\bar{2}1)$ a un dièdre égal à 87° 9' ; si on le prend pour forme primitive, le paramètre devient : 1,32214.

Beudantite : 91° 18', $c = 1,1842$.

Swanbergite : 90° 35', $c = 1,2063$.

Alunite : 89° 10', $c = 1,2520$.

Système terbinaire.

Dans ce système, nous avons deux types à considérer suivant que les axes horizontaux correspondent aux axes quaternaires ou aux axes binaires d'un cristal cubique. Les cristaux appartenant à ce système sont très peu nombreux. La plupart de ceux que l'on considère habituellement comme orthorhombiques, ne sont que monocliniques, avec deux axes binaires de symétrie apparente.

Premier type. — Dans ce type, la forme primitive est un prisme droit à base rectangle, dont les paramètres sont sensiblement égaux à l'unité.

Stibine: 0,99257 : 1 : 1,01788.

Bismuthine : 0,9679 : 1 : 0,9850.

Krennerite : 0,94071 : 1 : 1,00890.

Valentinite. — On adopte pour paramètre de ce minéral les valeurs 0,3910 : 1 : 0,3364 ; or, si l'on multiplie le premier par $\frac{5}{2}$ et le dernier par 3, on obtient : 0,9775 : 1 : 1,0092, valeurs voisines de l'unité, et la comparaison avec les angles d'un cristal cubique donne les résultats suivants, qui justifient parfaitement l'homologation :

(013) $(0\bar{1}3)$ =	37° 11′ au lieu de	36° 52′
(023) $(0\bar{2}3)$ =	67° 52′	67° 24′
(043) $(0\bar{4}3)$ =	106° 46′	106° 16′
(520) $(5\bar{2}0)$ =	42° 41′	43° 36′
(506) $(\bar{5}06)$ =	81° 25′	79° 36′

Deuxième type. — Dans ces cristaux, la forme primitive est un prisme orthorhombique, à base losangique, dont l'angle

est voisin de 90°, et les paramètres sont sensiblement égaux à

$$1 : 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707.$$

Les caractéristiques q', r', s', relativement aux axes binaires, sont reliés aux caractéristiques relatives aux axes quaternaires par les égalités :

$$q' = q + r$$
$$r' = q - r$$
$$s' = s$$

Acanthite. — Les paramètres proposés sont :

0,6886 : 1 : 0,9944.

il suffit donc d'intervertir le premier et le troisième pour avoir des paramètres 0,9944 : 1 : 0,6886, voisins des paramètres théoriques. L'angle de la forme primitive est égal à 89° 40'.

Les cristaux se maclent suivant le plan (101), qui a pour notation relativement aux axes quaternaires (112) :

Diaphorite. — Les paramètres proposés sont :

0,49194 : 1 : 0,73447,

et en multipliant le premier par 2, on obtient :

0,98388 : 1 : 0,73447.

La forme primitive a pour angle 90° 50'. Les cristaux se maclent suivant les plans (120) et (122) ou en multipliant la première caractéristique par 2 (110), (111), c'est-à-dire relativement aux axes quaternaires (100), (101).

Leucophanite. — Paramètres : 0,99391 : 1 : 0,67217 ; sa forme primitive possède un angle de 89° 39′.

Comme les cristaux sont hémiédriques, ils se maclent suivant les trois faces de la forme primitive et donnent ainsi naissance à des groupements de huit cristaux, chacun d'eux occupant l'un des huit angles solides déterminés par les trois plans (110), $(1\bar{1}0)$, (001). Ils se maclent également suivant le plan (010) qui, par rapport aux axes quaternaires, a pour notation $(1\bar{1}0)$.

Andalousite. — Paramètres : 0,98613 : 1 : 0,70245. Angle de la forme primitive 89° 12′.

Cette substance est holoaxe hémisymétrique, les deux plans passant par l'axe vertical et les deux autres axes binaires étant des plans limites. Il en résulte que quatre cristaux peuvent se macler symétriquement par rapport à ces plans, sans que le groupement soit décélé par les propriétés optiques, puisque les plans de macle sont des plans de symétrie de l'ellipsoïde d'élasticité optique. La macle n'est alors révélée que par la présence de matières étrangères, comme cela a lieu dans la Chiastolithe.

Staurotide. — Les paramètres proposés sont :

0,4734 : 1 : 0,6828.

En multipliant le premier et le troisième par $\frac{3}{2}$ et en les intervertissant, on obtient : 1,0242 : 1 : 0,7101. L'angle de la forme primitive est 91° 22′.

Les plans de macle sont, dans la notation habituelle (032), (232), (230) et dans le nouveau système (110), (111), (011), qui deviennent, par rapport aux axes quaternaires (100), (101), $(1\bar{1}2)$.

Système binaire.

On a fait rentrer jusqu'ici, dans le système quadratique et le système othorhombique, un grand nombre de cristaux appartenant en réalité à ce système, en ce sens que leur réseau et leur particule complexe ne possèdent qu'un axe binaire, l'axe quaternaire et les autres axes binaires n'étant que des éléments de symétrie apparente. Nous aurons, dans ce système, trois groupes à distinguer, celui des cristaux présentant un axe quaternaire de symétrie apparente, celui des cristaux ayant une symétrie orthorhombique apparente, et enfin celui des cristaux simplement monocliniques.

1° Cristaux à symétrie quadratique apparente.

J'ai étudié plus haut le Rutile d'une façon approfondie, et montré que son réseau était quasi ternaire, les paramètres de sa forme primitive étant $a : 1 : 1,5$. Il en est de même pour tous les cristaux de ce groupe, où le paramètre a diffère plus ou moins de $\sqrt{3}$; c'est d'ailleurs cet axe a qui joue le rôle d'axe quaternaire. Il a été cependant nécessaire de faire une restriction : peut-être ces cristaux appartiennent-ils au type Diopside, les paramètres de la forme primitive étant $a : 1 : 1,5$ et ceux du réseau $a : 1 : 1,2$.

Rutile. — Je rappellerai simplement ici que les paramètres de ce minéral sont : 1,9325 : 1 : 1,5, et que les principaux plans de macles désignés habituellement par la notation (301), (101) sont tels que (301) $(\bar{3}01)$ = 54° 43 et (101) $(\bar{1}01)$ = 114° 26.

Calomel. — Dans la notation habituelle, le paramètre de l'axe soi-disant quaternaire est 1,72291. Mais les cristaux

se maclent suivant les faces (101), tels que (101) ($\bar{1}$01) = 60° 16′, et souvent ils se groupent par trois à 120° autour de la droite d'intersection de ces deux faces, comme le montre la figure ci-jointe. La macle est tout à fait comparable à la macle en cœur du Rutile, et le soi-disant axe binaire, autour duquel trois cristaux se groupent à 120°, est en réalité un axe quasi ternaire, et les paramètres véritables sont : 1,72291 : 1 : 1,5. Il s'en faut de très peu, comme on le voit, que le réseau soit réellement ternaire.

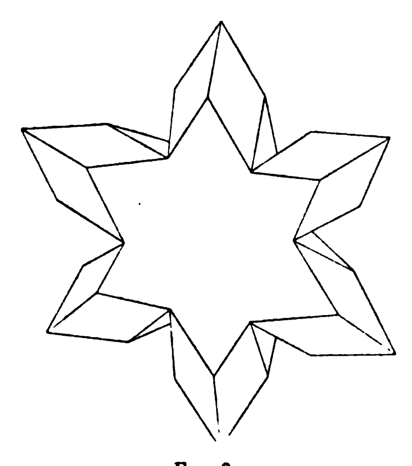


Fig. 9.

Méliphanite. — On ne connaît aucune macle de ce cristal, et on n'a pour se guider que la similitude d'angle avec le Rutile, comme le montre le tableau ci-joint :

(001) (101)	33° 21′ au lieu de	32° 47′ dans le Rutile
(101) (011)	44° 14′	45° 2′
(101) ($\bar{1}$01)	66° 43′	65° 34′
(111) (1$\bar{1}$1)	57° 37′	56° 52′
(111) ($\bar{1}\bar{1}$1)	85° 55′	84° 40′

Il y a tout lieu de croire à une symétrie quaternaire apparente, et les paramètres sont alors : 1,9756 : 1 : 1,5.

Matlockite. — Par sa forme cristalline, ce minéral se rapproche beaucoup du Calomel; l'angle du soi-disant octaèdre (101), qui est de 60° 16′ dans ce dernier, est ici de 59° 34′. Les paramètres sont donc 1,7627 : 1 : 1,5.

Dipyre. — Par comparaison avec le Rutile, on obtient :

$$(101)\,(011) = 44^\circ\,3' \quad \text{au lieu de } 45^\circ\,2'$$
$$(101)\,(\bar{1}01) = 64^\circ\,4' \qquad\qquad 65^\circ\,34'$$

les paramètres sont donc : 1,8770 : 1 : 1,5.

Méronite : 1,8637 : 1 : 1,5.

Wérnerite : 1,8601 : 1 : 1,5.

Mélilite. — Dans la notation habituellement adopté, les angles connus de ce minéral sont ceux de l'octaèdre (111). En outre, M. Rosenbuch a indiqué l'existence d'une macle suivant la face (101), telle que les axes optiques des deux cristaux fassent un angle de 82° 10′ approximativement. Mais, si l'on prend pour axes horizontaux les bissectrices des axes pris habituellement, l'octaèdre prend pour notation (101); alors on a dans la Mélilite et dans le Rutile :

$$(101)\,(\bar{1}01) = 65^\circ\,30' \quad \text{au lieu de } 65^\circ\,34'$$
$$(101)\,(011) = 44^\circ\,59' \qquad\qquad 45^\circ\,2'$$

Les paramètres de la Mélilite sont donc :

1,9297 : 1 : 1,5

En outre, la face (101), qui, rapportée à ces paramètres, a pour notation $(21\bar{1})$, est bien un plan de macle, car relativement aux arêtes de la forme primitive, elle a pour notation $(1\bar{1}2)$; et il est facile de voir que cette face fait avec l'axe optique

un angle de 40° 46′. Dans cette association, les deux axes optiques feront donc un angle de 81° 32′.

Zircon. — Ce minéral se macle comme le Rutile, suivant les faces (101), et la comparaison de ses angles avec ceux du Rutile donne le tableau suivant :

$(101)\,(\bar{1}01)$	= 65° 16′	au lieu de 65° 34, dans le rutile
$(101)\,(011)$	= 44° 50′	45° 2′
$(111)\,(1\bar{1}1)$	= 56° 40′	56° 52′
$(111)\,(\bar{1}\bar{1}1)$	= 84° 20′	84° 40′

Les paramètres sont donc : 1,9210 : 1 : 1,5.

Le Zircon est d'ailleurs dimorphe et il peut être biaxe, tout en présentant extérieurement le même aspect que la forme uniaxe, par suite de macles. Dans certains Zircons, une section perpendiculaire à l'axe du prisme se décompose en quatre secteurs séparés par les traces des plans diagonaux du prisme. Ces secteurs sont biaxes, la bissectrice étant

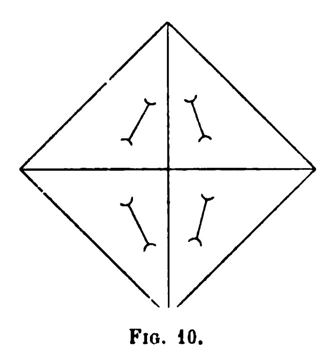


Fig. 10.

parallèle aux arêtes du prisme; le plan des axes, dont l'angle est très petit, est légèrement incliné sur la trace de l'un des plans diagonaux. Ces quatre secteurs sont symé-

triques, comme le montre la figure ci-jointe, par rapport aux traces de ces plans diagonaux. Ce phénomène ne peut s'expliquer qu'en admettant que le plan diagonal, qui est un plan de symétrie dans la forme uniaxe, n'est plus ici qu'un plan limite; l'autre plan diagonal est également un plan de macle, comme étant perpendiculaire sur un axe quasi ternaire.

Xénotime. — Ce minéral ressemble beaucoup, dans sa forme cristalline, au Zircon avec lequel on le trouve associé, les deux cristaux ayant même orientation. Ces paramètres sont : 1,8564 : 1 : 1,5.

2° Cristaux à symétrie apparente orthorhombique.

Le réseau de ces cristaux est sensiblement ternaire, et il ne possède réellement qu'un axe binaire ; la symétrie binaire apparente se trouve réalisée dans l'axe ternaire du réseau, et dans la normale à cet axe, et à l'axe binaire. Si cette normale est prise pour axe des x, l'axe binaire pour axe des y et l'axe ternaire pour axe des z, dans ces cristaux, les paramètres devront être voisins de $\sqrt{3} = 1{,}732 : 1 : \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = 1{,}224$. Pour permettre les comparaisons, le tableau suivant donne les angles, que font, dans un cristal cubique, deux faces symétriques par rapport aux plans de symétrie réels ou apparents dans les trois zones ayant pour axes les axes binaires.

Les faces, dont les symboles sont soulignés, sont les faces susceptibles d'être des plans de macles. Il y a, bien entendu, d'autres plans de macle possibles ; leurs caractéristiques ont été donnés précédemment.

Zone parallèle à l'axe des z.

	Angle sur l'axe des y	Angle sur l'axe des x
$(110)\ (\bar{1}10)$	120°	60°
$(210)\ (\bar{2}10)$	81° 48′	98° 12′
$(120)\ (\bar{1}20)$	147° 48′	32° 12′
$(310)\ (\bar{3}10)$	60°	120°
$(130)\ (\bar{1}30)$	158° 12′	21° 48′
$(320)\ (\bar{3}20)$	98° 12′	81° 48′
$(230)\ (\bar{2}30)$	137° 54′	42° 6′

Zone parallèle à l'axe des y.

	Angle sur l'axe des z	Angle sur l'axe des x
$(101)\ (101)$	109° 28′	70° 32′
$(201)\ (\bar{2}01)$	70° 32′	109° 28′
$(102)\ (\bar{1}02)$	141° 4′	38° 56′
$(301)\ (\bar{3}01)$	50° 28′	129° 32′
$(103)\ (\bar{1}03)$	153° 28′	26° 32′
$(302)\ (\bar{3}02)$	86° 38′	93° 22′
$(203)\ (\bar{2}03)$	129° 32′	50° 28′
$(401)\ (\bar{4}01)$	38° 56′	141° 4′

Zone parallèle à l'axe des x.

	Angle sur l'axe des z	Angle sur l'axe des y
$(011)\ (0\bar{1}1)$	78° 28′	101° 32′
$(021)\ (0\bar{2}1)$	44° 26′	135° 34′
$(012)\ (0\bar{1}2)$	117° 2′	62° 58′
$(031)\ (0\bar{3}1)$	30° 28′	149° 32′
$(013)\ (0\bar{1}3)$	135° 34′	44° 26′
$(032)\ (0\bar{3}2)$	57° 6′	122° 54′
$(023)\ (0\bar{2}3)$	101° 32′	78° 28′
$(043)\ (0\bar{4}3)$	62° 58′	117° 2′

Orpiment. — Les paramètres habituels sont :

$$0,60304 : 1 : 0,67427.$$

Si l'on fait subir une permutation tournante à ces paramètres et qu'ensuite on multiplie le premier par $\frac{3}{2}$ et le dernier par $\frac{3}{4}$, il vient : 1,6771 : 1 : 1,2437. En opérant de même sur les caractéristiques, on obtient :

$(043)(0\bar{4}3) =$ 62° 16′	au lieu de	62° 58′
$(023)(0\bar{2}3) =$ 79° 20′		78° 28′
$(201)(\bar{2}01) =$ 68°		70° 32′
$(320)(\bar{3}20) =$ 96° 23′		98° 12′

Glaucodot. — Paramètres habituels : 0,69416 : 1 : 1,1925. Les cristaux se maclent suivant les faces (110) et, en outre, ils se groupent par trois, par six, autour de l'axe moyen en s'accolant suivant les faces (101). Cet axe moyen est donc un axe ternaire limite. Et, en effet, en intervertissant les deux derniers paramètres, on obtient :

$$\frac{0,69416}{1,1925} : 1 : \frac{1}{1,1925}$$

et en multipliant le premier par $\frac{3}{2}$ et le dernier par 3, il vient :

$$1,74633 : 1 : 1,25787.$$

En opérant de même sur les caractéristiques, on voit que les notations des faces (110) (101) sont en réalité (201) et

(310); ce sont donc bien des plans limites. La comparaison des angles du Glaucodot avec ceux d'un cristal cubique donne :

$(201)(\bar{2}01) =$	69° 32′ au lieu de	70° 32′
$(310)(\bar{3}10) =$	119° 35′	120°
$(043)(\bar{0}43) =$	61° 36′	62° 58′
$(023)(\bar{0}23) =$	100° 2′	101° 32′
$(013)(\bar{0}13) =$	134° 30′	135° 34′

Mispickel. — Paramètres véritables : 1,7100 : 1 : 1,2625.

Löllingite. — Paramètres véritables : 1,62738 : 1 : 1,2163.

Marcassite. — Paramètres véritables : 1,86240 : 1 : 1,2153.

Tridymite. — Le paramètre habituellement adopté, en considérant ce minéral comme rhomboédrique, est : 1,65304. Or les cristaux se maclent suivant les faces du rhomboèdre $(30\bar{3}4)$, dont deux faces font entre elles un angle de 89° 32′ et qui doit, par suite, être considéré comme la forme primitive ayant pour notation $(10\bar{1}1)$. Le paramètre devient alors 1,23978.

Les cristaux sont, en outre, considérés comme se maclant suivant les faces du rhomboèdre $(10\bar{1}6)$. Mais la détermination de ces caractéristiques, basée sur des mesures fort difficiles, a été influencée par le désir d'obtenir des caractéristiques simples ; en réalité, les caractéristiques sont $\left(10\bar{1}5+\frac{1}{3}\right)$ ou $(30\bar{3}16)$, qui en diffèrent peu et qui, avec le nouveau paramètre, deviennent $(10\bar{1}4)$.

Aragonite. — Les paramètres donnés sont :

$$0{,}622444 : 1 : 0{,}720560.$$

L'axe vertical est, comme on le sait, un axe ternaire de grou-

pement, et les plans de macle ont pour caractéristiques (110)
(130); et l'on a :

$$(110)\ (1\bar{1}0) = 63^\circ\,48' \text{ au lieu de } 60^\circ$$
$$(130)\ (1\bar{3}0) = 57^\circ\,19' \qquad 60^\circ$$

En intervertissant les deux premiers paramètres, on obtient :

$$\frac{1}{0{,}62444} = 1{,}6066 : 1 : \frac{0{,}710560}{0{,}622444} = 1{,}1376$$

et les plans de macle deviennent (110), (310).

La forme primitive est un prisme monoclinique dont l'arête située dans le plan de symétrie fait avec l'axe vertical un angle de 54° 13′ au lieu de 54° 44′. Le dièdre suivant cette arête est de 93° 36′, et les deux autres dièdres égaux entre eux sont de 89° 15′.

Withérite : 1,6578 : 1 : 1,2106.

Strontianite : 1,6420 : 1 : 1,1886.

Cérusite : 1,6394 : 1 : 1,1853.

Broockite. — Les paramètres sont 0,84158 : 1 : 0,94439. En multipliant le premier par 3/2 et en faisant une permutation tournante, on obtient : 1,6833 : 1 : 1,1883. En opérant de même avec les caractéristiques, on peut comparer les angles du cristal avec un cristal cubique.

$(301)\ (\bar{3}01) =$	50° 33′ au lieu de	50° 28′
$(302)\ (\bar{3}02) =$	86° 43′	86° 38′
$(304)\ (\bar{3}04) =$	124° 12′	124° 6′
$(310)\ (3\bar{1}0) =$	58° 35′	60°
$(610)\ (\bar{6}10) =$	31° 20′	32° 12′
$(021)\ (0\bar{2}1) =$	45° 38′	44° 26′
$(011)\ (0\bar{1}1) =$	80° 11′	78° 28′
$(012)\ (0\bar{1}2) =$	61° 26′	62° 58′

Danburite : 0,54444 : 1, 0,480739. — En faisant une permutation tournante et en multipliant ensuite le premier par 2 et le dernier par 2/3, il vient :

1,7660 : 1 : 1,2268.

(310) ($3\bar{1}0$) = 60° 58′ au lieu de 60′

(032) ($0\bar{3}2$) = 57° 7′ 57° 6′

(302) ($\bar{3}02$) = 87° 45′ 86° 38′

Topaze : 0,528542 : 1 : 0,476976. — En opérant comme pour le précédent, on obtient :

1,80486 : 1 : 1,2613.

(032) ($0\bar{3}2$) = 55° 43′ au lieu de 57° 6′

(310) ($\bar{3}10$) = 62° 4′ 60°

(101) ($\bar{1}01$) = 110° 6′ 109° 28′

Barytine : 0,81520 : 1 : 1,31349. — Par une permutation tournante, il vient :

1,6114 : 1 : 1,2267.

(011) ($0\bar{1}1$) = 78° 22′ au lieu de 78° 28′

(110) ($1\bar{1}0$) = 116° 21′ 120°

(101) ($1\bar{0}1$) = 105° 26′ 109° 28′

La déformation est moins forte que celle de l'Aragonite.

On cite, comme macles, des lamelles hémitropes obtenues par *actions mécaniques*, suivant le plan (101), qui est effectivement un plan de macle et suivant les plans (011) et (160), qui ne sont pas des plans de macles, mais simplement des plans de glissement, le plan de macle étant dans le premier cas (001) et, dans le second, soit (110), soit (310).

Célestine : 1,6433 : 1 : 1,2838.

Anglésite : 1,6422 : 1 : 1,2736.

3° Cristaux binaires proprement dits.

Cryolite. — Les paramètres habituels sont :

$$0{,}96616 : 1 : 1{,}38824 \quad \text{avec} \quad \widehat{zx} = 89^\circ\, 49'$$

et les cristaux se maclent suivant les faces (110), (112), (100) et (001), faisant entre elles les angles suivants :

$$(110)\,(\bar{1}10) = 88^\circ\, 2'$$
$$(001)\,(112) = 44^\circ\, 54'$$
$$(110)\,(112) = 44^\circ\, 58'$$

indiquant que l'on a affaire à un cristal cubique légèrement déformé. Et en effet, en divisant le dernier paramètre par 2, il vient : 0,96626 : 1 : 0,69412, c'est-à-dire sensiblement 1 : 1 : 0,707. Les plans de macles deviennent alors (110), (111), (100), (001), et si on les rapporte aux axes du cube, ces caractéristiques deviennent (100), (101), (110), (001), caractéristiques de plans limites.

Wöhlérite. — Paramètres : 1,0549 : 1 : 0,7091, $\widehat{zx} = 70^\circ\, 45'$, un seul plan de macle (100). Or il est facile de voir qu'il existe une rangée faisant dans l'angle obtus de zx, avec l'axe vertical un angle de 89° 43′ et ayant pour paramètre 1,0011. On peut donc prendre pour axes trois rangées sensiblement perpendiculaires et ayant pour paramètres 1,0011 : 1 : 0,7091, c'est-à-dire à peu près, 1 : 1 : 0,707 et correspondant, par suite, à un axe quaternaire et à deux axes binaires du cube. Quant au plan de macle, il correspond à un plan de symétrie non principal du cube.

L'axe des x habituel correspond, dans un cristal cubique, à la normale au plan (221), normale faisant avec oz un angle

de 70° 32′ et dont le paramètre est égal à 2,1215. Si donc on conserve les axes habituels, on doit prendre pour paramètres : 2,1098 : 1 : 0,7091.

Homilite. Paramètres : 0,6249 : 1 : 1,2824, $z\bar{x} = 89° 21'$. — Plans de macles, (001), (100) et macle en croix suivant (034), les deux cristaux faisant un angle de 87° 46′, c'est-à-dire voisin de 90°.

L'axe des x est donc un axe quaternaire limite, et le plan (034) doit avoir pour rotation (011).

Il faut, par suite, multiplier le premier paramètre par $\frac{3}{2}$ et le dernier par $\frac{3}{4}$. On obtient ainsi :

0,9373 : 1 : 0,9618, sensiblement : 1 : 1 : 1.

Datolite : 0,95169 : 1 : 0,94930 avec $z\bar{x} = 89° 51'$.

Gadolinite : 0,94089 : 1 : 0,99112 $zx = 89° 26'$.

Philippsite. Paramètres : 0,70949 : 1 : 1,2563, $zx = 55° 37'$. — Les paramètres sont donc sensiblement $\frac{1}{\sqrt{2}} : 1 : \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$, et comme, en outre, l'angle zx est sensiblement égal à 54° 44′, on doit considérer l'axe vertical z comme un axe ternaire, l'axe x comme un axe quaternaire et l'axe y comme un axe binaire du cube. Les cristaux, en effet, peuvent se macler suivant le plan (001), qui est un plan de symétrie non principal ; quatre cristaux se groupent à 90° autour de l'axe des x, les plans d'accolement étant les plans (011), (01̄1), qui sont des plans de symétrie principaux du cube. Enfin trois de ces groupements peuvent se grouper à 120° autour de l'axe vertical, de façon à constituer un édifice ayant tous les éléments de symétrie du cube et formé de vingt-quatre cristaux.

Harmotome. Paramètres : 0,70315 : 1 : 1,2310, $\overline{zx} = 55°20'$. Mêmes groupements que la Philippsite ; les axes doivent être considérés comme ayant la même signification.

Scolésite. Paramètres : 0,97636 : 1 : 0,34338, $zx = 89° 18'$. — Macle suivant (110) et (100).

En multipliant par 3 le troisième paramètre, on obtient :

$$0,97636 : 1 : 1,03014.$$

Gibbsite. Paramètres : 1,70890 : 1 : 1,91843 avec $zx = 85° 29'$. — En multipliant le dernier par $\frac{2}{3}$, les paramètres deviennent 1,70830 : 1 : 1,27895, c'est-à-dire à peu près :

$$\frac{\sqrt{6}}{\sqrt{2}} : 1 : \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}.$$

Et, en effet, on a :

(110) $(1\bar{1}0)$	=	119° 10′ au lieu de	120°
(001) (032)	=	62° 23′	61° 27′
(100) $(\bar{3}02)$	=	43° 41′	43° 19′

Les cristaux se maclent suivant les plans (110) et (100). En outre M. Brögger indique une macle suivant un plan un peu différent de (110), coupant le plan (001) suivant une ligne faisant avec l'arête (100)(001) un angle de 119° 41′ et avec (110)(001), un angle de 0° 31′. A vrai dire ce n'est qu'un plan de macle apparent ; en réalité les cristaux sont symétriques par rapport à l'axe binaire limite, qui, dans un cristal cubique, serait normal sur (110).

Gypse : 0,68994 : 1 : 0,41241 $xz = 80° 42'$. — Plans de macle (100) et (101).

Ce dernier fait avec l'axe vertical un angle de 52° 25′ ; or,

en multipliant par 3 le paramètre de cet axe, on obtient 1,23723, c'est-à-dire sensiblement $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$; on est donc amené à considérer l'axe vertical comme un axe ternaire, et le plan (101) comme un plan de symétrie non principal faisant avec l'axe ternaire un angle de 52° 25′ au lieu de 54° 44′.

Et, en effet, dans l'angle obtus des axes ox et oz, il existe une rangée faisant avec oz un angle de 90° 42′ et ayant pour paramètre 1,6341, c'est-à-dire à peu près $\sqrt{3}$.

Quant à l'axe des x habituel, il aurait, dans un réseau cubique, la notation [113], et son paramètre serait à peu près $3 \times 0{,}68994$.

Par conséquent, si l'on veut conserver les axes habituels, on doit prendre pour paramètres :

$$2{,}06982 : 1 : 1{,}23723 \qquad zx = 80^\circ 42'.$$

Orthose : 0,65851 : 1 : 0,55538, $xz = 63^\circ 56'$. — Les cristaux se groupent par quatre et par huit autour de l'axe des x, par trois et par six autour de l'axe des z. On est donc amené, malgré la forte déformation de l'angle xz, à considérer l'axe des x comme axe quaternaire limite, et l'axe des z comme un axe ternaire limite. Mais alors il faut multiplier le dernier paramètre par 2, pour avoir des paramètres se rapprochant suffisamment de $\frac{1}{\sqrt{2}} : 1 : \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}\cdot$ On devra donc, par suite, multiplier par 2 la troisième caractéristique des plans réticulaires.

Il est facile de voir que, entre les caractéristiques (q, r, s) d'un plan rapporté aux axes du cube et celles (q', r', s') du même plan rapporté à un axe quaternaire, un axe ternaire

et un axe binaire, il existe les relations :

$$\begin{aligned} q' &= q \\ r' &= r - s \\ s' &= -q + r + s \end{aligned}$$

On en déduit que les caractéristiques des faces susceptibles d'être un plan de macle sont :

$(10\bar{1})$	(110)	(100)	(101)
(011)	$(1\bar{1}0)$	$(1\bar{1}2)$	$(\bar{1}03)$
$(0\bar{1}1)$	(001)	(112)	$(1\bar{2}\bar{1})$
	$(\bar{1}12)$	$(\bar{1}02)$	$(12\bar{1})$
	$(11\bar{2})$	$(13\bar{2})$	
	(010)	$(1\bar{3}\bar{2})$	
		$(1\bar{1}\bar{1})$	
		$(11\bar{1})$	
		$(\bar{1}\bar{1}4)$	
		$(\bar{1}14)$	
		(130)	
		$(1\bar{3}0)$	

Jusqu'ici on n'a reconnu comme plans de macles que les faces $(10\bar{1})$, (011), $(0\bar{1}1)$, c'est-à-dire les trois plans de symétrie principaux du cube, (110), $(1\bar{1}0)$, (001), $(\bar{1}12)$, $(11\bar{2})$, $(0\bar{1}0)$, c'est-à-dire les plans de symétrie non principaux du cube et (100), (130), $(1\bar{3}0)$, c'est-à-dire trois faces du trapézoèdre a^2 dans le cube.

Les relations existant entre les caractéristiques (m', n', p') d'une rangée rapportés aux axes habituels et les caractéristiques (m, n, p) de cette rangée rapportés aux axes du

cube sont :

$$\begin{aligned} m' &= 2m + p + n \\ n' &= n - p \\ p' &= n + p \end{aligned}$$

On en conclut que les axes quaternaires de groupement ont pour caractéristiques [100], [111], $[1\bar{1}1]$. Les axes sénaires, c'est-à-dire binaires et ternaires, sont :

$[201]$, $[001]$, $[1\bar{1}0]$, $[110]$.

Les axes binaires de groupement correspondants aux axes binaires du cube sont :

$[311]$, $[\bar{3}\bar{1}1]$, $[101]$, $[\bar{1}11]$, $[\bar{1}\bar{1}1]$, $[010]$.

Les axes binaires de groupement dérivant des normales aux faces du trapézoèdre sont :

$[301]$, $[5\bar{1}3]$, $[513]$, $[\bar{1}01]$, $[13\bar{1}]$, $[1\bar{3}1]$, $[2\bar{1}0]$,
$[210]$, $[\bar{1}13]$, $[113]$, $[331]$, $[3\bar{3}1]$.

Jusqu'ici on a reconnu l'existence de groupements quaternaires autour de l'axe [100], de groupements binaires et ternaires autour de l'axe [001], de groupements binaires autour de [010] et de [110], $[1\bar{1}0]$.

La forme primitive est donc facile à calculer : c'est un prisme monoclinique, dont le dièdre, ayant pour arête l'axe des x, est de 90° 6'; la face opposée fait avec l'axe des z un angle de 35° 44' au lieu de 35°55', et les deux dièdres adjacents à cette face sont de 96° 21'.

Il se pourrait d'ailleurs, quoique je ne sois pas parvenu à l'établir, que cette forme primitive ne coïncidât pas avec la

maille du réseau. Il ne faut pas oublier que, si les trois faces de la forme primitive doivent coïncider avec trois plans réticulaires du réseau, il se peut, quand la symétrie ne l'exige plus, qu'elles ne coïncident pas avec trois plans ayant les mêmes caractéristiques par rapport au réseau. Il se pourrait dans ce cas, par exemple, que la face de la forme primitive perpendiculaire sur le plan de symétrie n'ait pas les mêmes caractéristiques que les deux autres faces.

Système triclinique.

Feldspaths. — On a vu, à propos de l'orthose, que, pour avoir le véritable paramètre de la forme primitive, en conservant les axes adoptés, il fallait simplement multiplier par 2 le paramètre de l'axe vertical.

Sassolite. — Paramètres : 1,7328 : 1 : 1,2204, $xz = 104° 17'$, $yz = 92° 23'$, $xy = 89° 41'$. — L'axe des z est un axe binaire de groupement. Or il existe, dans le plan zx, une rangée faisant avec cet axe des z un angle de 90° 42′ et ayant pour paramètre 1,6785. Les paramètres véritables sont donc : 1,6785 : 1 : 1,2204. C'est-à-dire à peu près :

$$\frac{\sqrt{6}}{\sqrt{2}} : 1 : \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}.$$

Disthène. — Il a été établi dans le premier chapitre de ce travail que l'axe des y était un axe quaternaire limite, l'axe des z un axe binaire limite, et l'axe des x une rangée ayant pour paramètre [231] ; il en résulte que les constantes cristallographiques du Disthène sont :

3,59752 : 1 : 1,41792, avec $xz = 101° 2'$, $yz = 90° 5'$ et $xy = 105° 44'$.

Comme on le voit, l'axe des y du Disthène correspond à l'axe vertical de l'Andalousite, et un axe horizontal de celle-ci à l'axe vertical du Disthène.

CRISTAUX DU TYPE CALCITE.

Dans ce groupe rentrent les cristaux, dont la forme primitive est voisine du rhomboèdre de 107° 6'. Comme il a été montré plus haut, la maille du réseau, dans ces cristaux, ne coïncide pas avec la forme primitive, dont les faces ont pour caractéristiques $(20\bar{2}3)$, si on les rapporte aux rangées du réseau représentant l'axe ternaire et les axes binaires.

Dans ce groupe ne sauraient rentrer des cristaux appartenant au système cubique ou au système quadratique, parce que, chez eux, la forme primitive est un prisme droit.

Système ternaire.

Il a été donné plus haut les caractéristiques des éléments de groupement de tous les cristaux appartenant au système ternaire. Ces caractéristiques sont rapportées non au réseau, mais à la forme primitive, et elles restent les mêmes pour tous les types de formes primitives. Mais quand la maille du réseau ne concorde pas avec la forme primitive, d'autres éléments de groupement peuvent exister, tout au moins en apparence.

Dans le rhomboèdre, dont le paramètre est exactement $\frac{2\sqrt{3}}{3\sqrt{2}}$, à toute rangée correspond un plan réticulaire qui lui est perpendiculaire; par conséquent, deux cristaux orientés symétriquement par rapport à un axe binaire limite seront

également, s'ils sont centrés, symétriques par rapport au plan réticulaire perpendiculaire, qui ne coïncide pas avec un plan limite, par suite de la nature de la forme primitive.

D'autre part, deux cristaux, symétriques par rapport à un plan limite passant par un axe binaire, seront également symétriques par rapport à un plan réticulaire perpendiculaire.

Il y a donc, comme on le voit, un certain nombre d'éléments de groupement apparents qu'il faut ajouter aux éléments réels.

Les plans de groupement sont donc les faces des rhomboèdres :

$(10\bar{1}1)$ dont le dièdre est de	107° 6′
$(01\bar{1}2)$	136° 39′
$(02\bar{2}1)$	80° 10′
$(10\bar{1}4)$	157° 5′

et du prisme et du scalénoèdre :

(0110)
$(12\bar{3}2)$

Les plans de groupements apparents sont les faces des rhomboèdres.

$(09\bar{9}8)$ dont le dièdre est de	101° 54′
$(90\bar{9}4)$	76° 52′
$(90\bar{9}16)$	132° 7′
$(09\bar{9}2)$	65° 6′

dont les faces sont perpendiculaires sur les faces des premiers rhomboèdres.

Ellès sont également perpendiculaires sur des axes de groupements; il en est de même des faces du scalénoèdre

$(27, \bar{18}, \bar{9}, 8)$, qui sont perpendiculaires sur les axes de groupements, qui, dans le cube, sont perpendiculaires sur les faces du scalénoèdre $(12\bar{3}2)$.

I. — Cristaux à symétrie hexagonale apparente.

Pyrrothine. — Considéré comme hexagonal avec $c = 0{,}8701$.

Or les cristaux se maclent suivant trois faces à 120°, et trois faces seulement, du soi-disant isocéloèdre $(10\bar{1}1)$. Ces trois faces constituent un rhomboèdre dont le dièdre est de 104° 16′ et qui doit être considéré comme la forme primitive. Le paramètre de l'axe ternaire du réseau est égal à 1,3051.

Néphéline. — Considéré comme hexagonal avec $c = 0{,}8389$. Mais M. Baumhauer a montré qu'elle n'avait qu'un axe ternaire et qu'elle était fréquemment maclée suivant les faces (0001) et $(01\bar{1}0)$.

La forme primitive est un rhomboèdre de 105° 54′ et le paramètre du réseau est égal à 1,2583.

II. — Cristaux rhomboédriques.

Tétradymite. — Le paramètre donné est égal à 1,5871 ; mais les cristaux se maclent suivant la face du rhomboèdre $(10\bar{1}2)$ dont, l'angle est de 108° 24′ et qui, par suite, doit être pris pour forme primitive. Le paramètre de cette forme primitive est donc, en réalité, égal à 0,7935, et celui du réseau 1,19025.

Pyrargyrite. — Paramètre : 0,78916. Les cristaux se maclent suivant les faces du rhomboèdre $(10\bar{1}1)$ de 108° 38′,

suivant à celles du prisme $(11\bar{2}0)$, suivant la base (0001), suivant les faces du rhomboèdre $(10\bar{1}4)$ dont le dièdre est de 157° 49′, suivant celles du rhomboèdre $(01\bar{1}2)$, dont le dièdre est de 137° 55′, du rhomboèdre $(02\bar{2}1)$, dont le dièdre est de 81° 12′. La macle indiquée comme se produisant suivant le plan $(01\bar{1}8)$, n'est que la superposition de deux macles suivant les plans $(10\bar{1}1)$ et $(01\bar{1}2)$. Le paramètre du réseau est 1,18374.

Proustite. — Paramètre : 0.80393. Avec macles suivant les faces du rhomboèdre $(10\bar{1}1)$ de 107° 48′, du rhomboèdre $(10\bar{1}4)$ de 157° 25′, du rhomboèdre $(01\bar{1}2)$ de 137° 14′, et suivant la base (0001).

Paramètre du réseau : 1,20589.

Calcite. — Paramètre : 0,85430. Macles suivant les faces des rhomboèdres :

$(10\bar{1}1)$	de	105° 5′
$(01\bar{1}2)$		134° 57′
$(02\bar{2}1)$		77° 51′

et la base

(0001)

Paramètre du réseau : 1,28145.

Dolomite : Paramètres : 0,8322 et 1,2483.

Magnésite : Paramètres : 0,8112 et 1,2168.

Sidérite. — 0,8184 et 1,2276.

Smithsonite. — 0,8063 et 1,2094.

Tourmaline. — Paramètre : 0,44767, avec macles suivant (0001) et $(10\bar{1}1)$, l'angle dièdre de ce rhomboèdre étant de 133° 8′. Par suite de l'absence d'autres macles, il y a doute sur la véritable homologation de ce rhomboèdre. Il peut être

considéré comme étant le rhomboèdre $(01\bar{1}2)$, dont le dièdre est égal à 136° 39′; et alors le paramètre serait 0,89534, ou bien la face $(10\bar{1}1)$ peut être considérée comme un plan de macle apparent appartenant au rhomboèdre $(90\bar{9}16)$, et le paramètre serait 0,79608. Mais la fréquence de la face $(10\bar{1}1)$ fait plutôt pencher en faveur de la première hypothèse, malgré l'assez grande déformation qu'elle suppose pour la forme primitive.

Chalcophyllite. — Paramètre : 2,5538. Mais le rhomboèdre $(01\bar{1}3)$ a un dièdre égal à 105° 15′; si donc on l'homologue au rhomboèdre de 107° 6′, le paramètre de la forme primitive devient 0,8312, et celui du réseau 1,2769.

Natronitre. — Paramètres : 0,8276 et 1,2414.

Nordenskiöldine. — Paramètres : 0,8221 et 1,2331.

Coquimbite. — Paramètre donné : 1,5613, et macle suivant $(11\bar{2}0)$. Mais le dièdre du rhomboèdre $(10\bar{1}1)$ étant de 81° 33′ au lieu de 80° 10′, comme cela a lieu pour le rhomboèdre $(20\bar{2}1)$, il y a lieu de diviser le paramètre donné par 2.

Paramètres : 0,78065 et 1,17097.

Quartz. — Parametre donné : 1,09997.

Il est assez difficile de déterminer la forme primitive de ce minéral. Le Quartz est, de tous les minéraux, celui qui a été le plus étudié; on a signalé, sous le nom de macles, un grand nombre d'associations tout accidentelles, et il n'est guère possible de distinguer parmi ces associations citées, celles qui constituent de véritables macles. Il se pourrait d'ailleurs que le Quartz, comme d'autres minéraux, possède deux ou plusieurs formes primitives.

Des macles indiscutables ont, pour plan de symétrie, les faces $(10\bar{1}0)$ et $(11\bar{2}0)$. D'autre part, M. E. Kaiser, dans le *Centralblatt für Mineralogie*, n° 3, 1900, vient de citer une

macle en croix de deux cristaux associés suivant la face du rhomboèdre ($03\bar{3}4$), dont le dièdre est égal à 106° 40′. Si l'on prend ce rhomboèdre pour forme primitive, le paramètre de celle-ci devient $1{,}09997 \times \frac{3}{4} = 0{,}82442$, et celui de son réseau 1,23663, diffèrent très peu de celui de la Tridymite qui est de 1,23978.

On voit combien la forme primitive du quartz se rapproche de celle de la Calcite, ce qui explique les associations de ces minéraux, observées si fréquemment.

Cinabre. — Paramètre : 1,14526.

Ne connaissant pas de macle suivant une forme oblique à l'axe, il y a lieu, par analogie avec le Quartz, de prendre pour paramètres 0,85896 et 1,28844.

Système binaire.

1° Cristaux à symétrie orthorhombique apparente.

Ces cristaux n'ont, en réalité, qu'un axe binaire ; mais le réseau est sensiblement ternaire, et l'axe ternaire ainsi que la grande diagonale de la maille losangique perpendiculaire sont des axes binaires de symétrie apparente. Les paramètres de la forme primitive sont $\sqrt{3} : 1 : \frac{2\sqrt{3}}{3\sqrt{2}}$.

Le tableau ci-joint donne les angles de deux faces symétriques par rapport aux plans de symétrie réels et apparents.

Zone parallèle à l'axe des z.

	Angle sur l'axe des y	Angle sur l'axe des x
$\underline{(110)}$ $\underline{(1\bar{1}0)}$	120°	60°
(210) ($2\bar{1}0$)	81° 48′	98° 12′
(120) ($1\bar{2}0$)	147° 48′	32° 12′
$\underline{(310)}$ $\underline{(3\bar{1}0)}$	60°	120°
(130) ($1\bar{3}0$)	158° 12′	21° 48′
(320) ($3\bar{2}0$)	98° 12′	81° 48′
(230) ($2\bar{0}0$)	137° 54′	42° 6′

Zone parallèle à l'axe des y.

	Angle sur l'axe des z	Angle sur l'axe des x
$\underline{(101)}$ ($\bar{1}01$)	129° 32′	50° 28′
(201) $\underline{(\bar{2}01)}$	93° 22′	86° 38′
(102) $\underline{(\bar{1}02)}$	153° 28′	26° 32′
(301) ($\bar{3}01$)	70° 32′	109° 28′
(103) ($\bar{1}03$)	162° 8′	17° 52′
(302) ($\bar{3}02$)	109° 28′	70° 32′
(203) ($\bar{2}03$)	145° 6′	34° 54′
$\underline{(401)}$ ($\bar{4}01$)	55° 52′	124° 8′
(902) $\underline{\underline{(\bar{9}02)}}$	50° 28′	129° 32′
$\underline{\underline{(901)}}$ ($\bar{9}01$)	26° 32′	153° 28′
$\underline{\underline{(904)}}$ ($\bar{9}04$)	86° 38′	93° 22′
(908) $\underline{\underline{(\bar{9}08)}}$	124° 8′	55° 52′

Zone parallèle à l'axe des x.

	Angle sur l'axe des z	Angle sur l'axe des y
(011) (0$\bar{1}$1)	101° 32′	78° 28′
(021) (0$\bar{2}$1)	62° 58′	117° 2′
(012) (0$\bar{1}$2)	135° 34′	44° 26′
(031) (0$\bar{3}$1)	44° 26′	135° 34′
(013) (0$\bar{1}$3)	149° 32′	30° 28′
(032) (0$\bar{3}$2)	78° 28′	101° 32′
(023) (0$\bar{2}$3)	122° 54′	57° 6′
(034) (0$\bar{3}$4)	117° 2′	62° 58′

On a souligné d'un trait les caractéristiques des plans limites et de deux traits les caractéristiques des plans perpendiculaires pouvant être des plans limites apparents. Mais, bien entendu, outre ces plans de macles, appartenant aux trois zones, il en est d'autres dont les caractéristiques ont été données précédemment.

Il se pourrait, d'ailleurs, que quelques espèces rangées dans ce type appartiennent au type précédent. Quand aucune macle, dont le plan est incliné sur l'axe, n'est connue, on est obligé de s'en rapporter au plus ou moins de simplicité des caractéristiques des faces les plus fréquentes, pour se décider entre les types. Or cette simplicité des caractéristiques constitue une présomption, mais non une preuve. Il se pourrait donc que, dans certains cas, le paramètre de l'axe vertical dût être multiplié par le facteur $\frac{3}{2}$.

Chalcosine. — Les paramètres donnés sont :

$$0,5822 : 1 : 0,9701,$$

et les cristaux se maclent par trois suivant les faces (110).

telles que (110) $(\bar{1}10)$ = 60° 25′ et suivant les faces (112), telles que (112) $(\bar{1}12)$ = 106° 37′. Or, dans le cristal type, les faces (111) $(\bar{1}11)$ font un angle de 107° 6′; pour homologuer les deux symboles, il faut donc diviser le dernier paramètre par 2. En intervertissant, en outre, les deux premiers, on obtient finalement, pour paramètres véritables, 1,7177 : 1 : 0,8331 au lieu de 1,732 : 1 : 0,8166, et pour ceux du réseau 1,7177 : 1 : 1,2496.

La comparaison des angles de la Chalcosine avec ceux du cristal type donne le tableau suivant :

		au lieu de
(110) $(\bar{1}10)$ =	60° 25′	60°
(320) $(3\bar{2}0)$ =	97° 44′	98° 12′
(310) $(3\bar{1}0)$ =	59° 35′	60°
(101) $(\bar{1}01)$ =	51° 45′	50° 28′
(201) $(\bar{2}01)$ =	88° 16′	86° 38′
(401) $(\bar{4}01)$ =	125° 28′	124° 8′
(111) $(\bar{1}11)$ =	73° 43′	72° 54′

On a indiqué une macle en croix suivant la face (301), dont les axes font entre eux des angles de 70°. Or dans le type calcite si les faces (301) $(\bar{3}01)$ font bien un angle de 70° 32′, elles ne sont pas des plans limites. Le groupement s'explique par ce fait que deux cristaux de Chalcosine orthorhombique se sont développés sur un cristal de Chalcosine cubique de façon à avoir avec elle un axe ternaire commun.

Les cristaux de Chalcosine présentent des stries parallèles au plan (010); ce qui porterait à croire à l'existence de lamelles hémitropes parallèles à ce plan.

Bournonite : 0,93797 : 1 : 0,89686. Les cristaux se maclent suivant le plan (110) et le plan perpendiculaire, l'angle (110) $(\bar{1}10)$ étant égal à 86° 20′. Le tableau précédent

nous montre que le plan de macle (201) fait, avec son symétrique, un angle de 86° 38′. Pour homologuer les deux plans, il faut faire subir une permutation tournante aux trois paramètres, puis multiplier le premier par 3/2 et le dernier par 3/4. On obtient ainsi :

$$\frac{1}{0,89686} \times \frac{3}{2} = 1,6725 : 1 : 1 \, \frac{0,93797}{0,89686} = 0,7843.$$

Les plans de macles prennent pour notation (201) et (904) avec :

$(201)\,(\bar{2}01)$ =	86° 20′	au lieu de	86° 38′
$(101)\,(\bar{1}01)$ =	50° 16′		50° 28′
$(023)\,(0\bar{2}3)$ =	124° 47′		122° 54′
$(110)\,(1\bar{1}0)$ =	61° 45′		60°

Enargite : 0,8711 : 1 : 0,8248 avec groupement de deux ou trois cristaux suivant les faces de (320), telles que $(320)\,(\bar{3}20)$ = 60° 17′. En multipliant le premier paramètre par 2, le symbole de ces faces devient (310), qui est bien celui d'un plan de macle, et les paramètres sont alors :

1,7422 : 1 : 0,8248.

$(210)\,(\bar{2}10)$ =	82° 7′	au lieu de	81° 48′
$(110)\,(1\bar{1}0)$ =	59° 43′		60°
$(101)\,(\bar{1}01)$ =	50° 40′		50° 28′
$(011)\,(0\bar{1}1)$ =	79° 2′		78° 28′

Chrysobéryl : 0,47006 : 1 : 0,58002. — Groupement de deux ou trois cristaux suivant les faces (031), telles que $(031)\,(0\bar{3}1)$ = 120° 14′. Pour que ces faces aient la notation

(310), il faut faire une permutation tournante entre les trois paramètres, qui deviennent :

1,7241 : 1 : 0,81036.

$(110)(\bar{1}10) =$	60° 14′ au lieu de	60°
$(101)(\bar{1}01) =$	50° 21′	50° 28′
$(011)(0\bar{1}1) =$	101° 37′	101° 32′

Les cristaux présentent des stries parallèles au plan de symétrie du réseau ; ils sont donc probablement maclés suivant ce plan.

Diaspore : 0,93722 : 1 : 0,60387. — Si on fait une permutation tournante entre ces paramètres et que l'on multiplie le dernier par 1/2, ils deviennent :

1,6560 : 1 : 0,7760

avec

$(110)(1\bar{1}0) =$	62° 15′ au lieu de	60°
$(101)(\bar{1}01) =$	50° 13′	50° 28′
$(021)(0\bar{2}1) =$	65° 35′	62° 58′

Olivine : 0,46575 : 1 : 0,58651. — Les cristaux se groupent par deux ou trois suivant les plans (011), tels que $(011)(0\bar{1}1) = 60° 47'$.

Pour que ces plans aient la notation (110), il suffit de faire une permutation tournante, et on obtient :

1,717 : 1 : 0,79478.

$(101)(\bar{1}01) =$	49° 57′ au lieu de	50° 28′
$(011)(0\bar{1}1) =$	103° 6′	101° 32′
$(110)(1\bar{1}0) =$	60° 47′	60°

Columbite : 0,82850 : 1 : 0,88976. — Avec groupements suivant les faces (021) et (023), telles que (021) $(0\bar{2}1)$ = 121° 20′ et (023) $(0\bar{2}3)$ = 61° 21′. En intervertissant le premier et le dernier paramètre, et en multipliant ensuite par 2 le premier, il vient :

1,77952 : 1 : 0,82850

et les plans de macle deviennent (110) et (310).

(110) $(1\bar{1}0)$ =	**121° 20′ au lieu de**	**120°**
(011) $(0\bar{1}1)$ =	**79° 17′**	**78° 28′**
(301) $(\bar{3}01)$ =	**71° 12′**	**70° 32′**

Béryllonite : 0,57242 : 1 : 0,54901. — Avec macle de deux ou trois cristaux suivant les faces (110), telles que (110) $(1\bar{1}0)$ = 59° 34′.

En multipliant le premier paramètre par 3 et le dernier par 3/2, ils deviennent :

1,71729 : 1 : 0,82351

et le plan de macle prend pour notation (310), tel que :

(310) (310) =	**59° 34′ au lieu de**	**60°**
(101) $(\bar{1}01)$ =	**51° 14′**	**50° 28′**
(021) $(0\bar{2}1)$ =	**117° 28′**	**117° 2′**

2° Cristaux binaires proprement dits.

Azurite : 0,85012 : 1 : 0,88054, $\overline{zx}$ = 87° 36′. — Les cristaux se maclent suivant les plans $(\bar{2}01)$ et $(\bar{1}01)$, tels que

$(\bar{2}01)(001) = 66° 11'$, et $(\bar{1}01)(001) = 47° 15'$. Or, dans le type calcite $(101)(001) = 64° 46'$ et $(\bar{2}01)(001) = 46° 41'$.

Si donc on intervertit le premier et le troisième paramètres, puis si l'on multiplie le dernier par 2, les plans de macle deviennent $(10\bar{1})$ et $(20\bar{1})$, et les paramètres réels sont :

1,72108 : 1 : 0,84012.

$(110)(\bar{1}10) =$	$120° 47'$ au lieu de	$120°$
$(011)(0\bar{1}1) =$	$80° 41'$	$78° 28'$
$(101)(100) =$	$62° 18'$	$64° 46'$
$(10\bar{1})(100) =$	$66° 11'$	$64° 46'$

Humite : 0,92575 : 1 : 4,07639, $zx = 90$. — Cristaux se maclant par deux ou trois suivant les faces (017) et (037), telles que $(017)(0\bar{1}7) = 60° 26'$ et $(037)(0\bar{3}7) = 59° 34'$.

En faisant une permutation tournante entre les trois paramètres après avoir divisé le premier par 2 et le troisième par 7, on obtient :

1,717 : 1 : 0,79478 ;

les plans de macles prennent pour notations (110) et (310).

$(110)(1\bar{1}0) =$	$60° 26'$ au lieu de	$60°$
$(101)(\bar{1}01) =$	$49° 40'$	$50° 28'$

Chondrodite : 1,08630 : 1 : 3,14472, $zx = 90°$. — Macles suivant les faces (105), (305), sensiblement à 60° les unes des autres, et suivant (001).

En intervertissant le second et le troisième paramètre, après avoir divisé le second par $\frac{3}{2}$ et le troisième par 5, on

obtient :

1,7272 : 1 : 0,7950.

et les plans de macle deviennent : (110), (310), (010). Le soi-disant axe binaire n'est donc qu'apparent et coïncide avec un axe ternaire limite.

Clinohumite : 1,08028 : 1 : 5,65884. — En intervertissant les deux derniers, après avoir multiplié le premier par 3, le deuxième par 3/2 et divisé le troisième par 3, on obtient :

1,71813 : 1 : 0,79519

Micas. — Biotite : 0,57735 : 1 : 3,27432. $zx = 90°$. — Ces micas, s'associant avec le Quartz de façon à ce que les orientations soient parallèles, on pourrait donc croire qu'ils appartiennent au type calcite ; mais, d'autre part, ils s'associent également au fer oxydulé qui est du type Disthène. On ne peut donc, de ces associations, tirer de conclusions sur la nature de la forme primitive, et il est probable que ces associations ont leur cause première non pas dans la forme primitive, mais dans le réseau lui-même.

Pour obtenir des paramètres comparables, il faut multiplier le premier par 3 et diviser le dernier par 4 ; on obtient ainsi :

1,73205 : 1 : 0,80958, et pour le réseau :
1,732 : 1 : 1,21437.

Muscovite : 1,73205 : 1 : 0,8181. $\overline{zx} = 89° 54'$.

Clinochlore : 1,73205 : 1 : 0,7591. $\overline{zx} = 89° 40'$.

Wolframite : 0,8300 : 1 : 0,86781. $\overline{zx} = 89° 21'$. — Macle suivant les plans (001) et (023), tels que (023) $(0\bar{2}3) = 60° 6'$.

Intervertissant le premier et le troisième paramètre, après

avoir multiplié ce dernier par 2, on obtient :

$$1{,}73562 : 1 : 0{,}8300 \quad \overline{zx} = 89^\circ 21'$$

et les plans de macle deviennent (100) et (310), avec :

$(110)(0\bar{1}0) =$	$120^\circ 6'$ au lieu de	120°
$(011)(0\bar{1}1) =$	$79^\circ 23'$	$78^\circ 28'$
$(001)(201) =$	$43^\circ 25'$	$43^\circ 19'$

Système triclinique.

Cristaux à symétrie binaire apparente.

Freieslebenite : 0,587714 : 1 : 0,92768 $\beta = 87^\circ 46'$ se maclant suivant le plan (100).

En intervertissant les deux premiers paramètres et en divisant le dernier par 2, on obtient :

$$1{,}7032 : 1 : 0{,}7900 \text{ avec } xy = 87^\circ 46'.$$

$(110)(1\bar{1}0) =$	$60^\circ 48'$ au lieu de	60°
$(101)(\bar{1}01) =$	$49^\circ 44'$	$50^\circ 28'$
$(010)(021) =$	$31^\circ 41'$	$31^\circ 29'$

On voit donc que l'axe binaire n'est qu'apparent, puisqu'il coïncide avec la grande diagonale du losange perpendiculaire sur un axe quasi ternaire.

TYPE DIOPSIDE.

Les cristaux de ce type sont relativement rares; comme il a été expliqué plus haut, leur forme primitive se rapproche d'un rhomboèdre de 82° 10′.

Système ternaire.

Dans ce système, les cristaux sont susceptibles de se macler suivant les faces des rhomboèdres, dont les angles dièdres sont donnés dans le tableau suivant, qui contient également les dièdres des rhomboèdres, dont les faces sont perpendiculaires sur les faces de ces rhomboèdres et qui, par suite, pourront être des plans de macle apparents :

$$(10\bar{1}1)\ (0\bar{1}11) = 82^\circ 10'$$
$$(01\bar{1}2)\ (1\bar{1}02) = 110^\circ$$
$$(02\bar{2}1)\ (2\bar{2}01) = 138^\circ 23'$$
$$(10\bar{1}4)\ (0\bar{1}14) = 67^\circ 7'$$
$$(01\bar{1}3)\ (1\bar{1}03) = 127^\circ 50'$$
$$(20\bar{2}3)\ (0\bar{2}23) = 97^\circ 21'$$
$$(10\bar{1}6)\ (0\bar{1}16) = 151^\circ 40'$$
$$(04\bar{4}3)\ (4\bar{4}0)3 = 74^\circ 16'$$

Le paramètre de l'axe ternaire est sensiblement égal à $\frac{5}{4}\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = 1{,}5309.$

Brucite : 1,52078. — On ne connaît pas de macle; mais les faces les plus fréquentes ne peuvent avoir de caractéristiques simples que si l'on fait rentrer ce minéral dans le type Diopside. On a en effet :

$$(10\bar{1}1)\ (0\bar{1}11) = 82^\circ 23'$$
$$(01\bar{1}2)\ (1\bar{1}02) = 110^\circ 58'$$
$$(20\bar{2}1)\ (0\bar{2}21) = 67^\circ 12'$$

Dioptase : 0,53417. — Mais les cristaux se maclent suivant

les faces du rhomboèdre $(01\bar{1}1)$, dont le dièdre est de 125° 55′. Si donc on veut homologuer le rhomboèdre au rhomboèdre $(01\bar{1}3)$, dont l'angle est 127° 50′, il faut multiplier le paramètre par 3. On obtient ainsi : 1,60251.

$$(20\bar{2}3)\ (0\bar{2}23) = 95°\,27' \text{ au lieu de } 97°\,21'$$

Système binaire.

Cristaux d'apparence terbinaire.

Dans ces cristaux, les paramètres seront sensiblement : $\sqrt{3} : 1 : \frac{5\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$, c'est-à-dire à peu près 1,732 : 1 : 1,5309.

Les angles de deux faces symétriques par rapport aux plans de symétrie réels ou apparents sont donnés dans le tableau suivant, où les caractéristiques des faces susceptibles d'être des plans de macles ont été soulignés.

Zone parallèle à l'axe des z.

	Angle sur l'axe des y	Angle sur l'axe des x
$\underline{(110)}\ \underline{(1\bar{1}0)}$	120°	60°
$(210)\ (2\bar{1}0)$	81° 48′	98° 12′
$(120)\ (1\bar{2}0)$	147° 48′	32° 12′
$\underline{(310)}\ \underline{(3\bar{1}0)}$	60°	120°
$(130)\ (1\bar{3}0)$	158° 12′	21° 48′
$(320)\ (3\bar{2}0)$	98° 12′	81° 48′
$(230)\ (2\bar{3}0)$	137° 54′	42° 6

Zone parallèle à l'axe des y.

	Angle sur l'axe des z	Angle sur l'axe des x
$\underline{(101)}$ $(\bar{1}01)$	97° 4′	82° 56′
(201) $\underline{(\bar{2}01)}$	59°	121°
(102) $\underline{(\bar{1}02)}$	132° 20′	47° 40′
(301) $(\bar{3}01)$	41° 20′	138° 40′
(103) $(\bar{1}03)$	147° 10′	32° 50′
(302) $(\bar{3}02)$	74° 4′	105° 56′
(203) $(\bar{2}03)$	119°	61°
$\underline{(401)}$ $(\bar{4}01)$	31° 36′	148° 24′
(403) $(\bar{4}03)$	80° 38′	99° 22′
(803) $(\bar{8}03)$	46°	134°

Zone parallèle à l'axe des x.

	Angle sur l'axe des z	Angle sur l'axe des y
(011) $(0\bar{1}1)$	66° 18′	113° 42′
(021) $(0\bar{2}1)$	36° 10′	143° 50′
(012) $(0\bar{1}2)$	104° 8′	75° 52′
(031) $(0\bar{3}1)$	24° 34′	155° 26′
(013) $(0\bar{1}3)$	125° 58′	54° 2′
(032) $(0\bar{3}2)$	47° 4	132° 56′
(023) $(0\bar{2}3)$	88° 50′	91° 10′

Epsomite : 0,9902 : 1 : 0,5709. — Par une permutation on obtient, après avoir multiplié le premier par 3/2 et le dernier par 3 :

1,72965 : 1 : 1,5148.

(310) ($\bar{3}\bar{1}0$) = 59° 56′ au lieu de 60°
(013) ($0\bar{1}3$) = 53° 35′ 54° 58′
(201) ($\bar{2}01$) = 59° 27′ 59°

Enstatite : 1,0308 : 1 : 0,5885. — D'après la discussion exposée au sujet du Diopside, dans la première partie de ce travail, il faut, pour avoir les paramètres réels de la forme primitive, intervertir le premier et le dernier paramètre après avoir multiplié celui-ci par 3 et celui-là par 2/3. On obtient ainsi : 1,7655 : 1 : 1,5462, et pour le réseau 1,7655 : 1 : 1,2462.

Hypersthène : 1,7604 : 1 : 1,5442 et pour le réseau 1,7604 : 1 : 1,2389.

Cristaux binaires proprement dits.

Diopside: 1,09213 : 1 : 0,58932 zx = 74° 10′. — D'après ce qui a été dit plus haut, si l'on veut conserver ces axes, il faut rationnellement intervertir le premier et le troisième paramètre, et ensuite multiplier le premier par 3 et le dernier par 6. On obtient ainsi :

1,76796 : 1 : 6,55278 zx = 74° 10′

Mais il est préférable, pour la comparaison avec les autres pyroxènes, de prendre pour axe des z l'axe pseudo-ternaire du réseau, et on a alors : 1,76796 : 1 : 1,5783 zx = 90° 22′ et pour le réseau 1,76796 : 1 : 1,2633.

Hornblende: 0,55108 : 1 : 0,29376, $\overline{zx}$ = 73° 58′. — En multipliant par 2 le premier et le troisième paramètre, on

obtient : 1,10216 : 1 : 0,58752, c'est-à-dire les mêmes paramètres que dans le Diopside. Les véritables paramètres de ces axes sont donc : 1,76256 : 1 : 6,61296.

Pour comparer les angles de la Hornblende avec ceux du tableau précédent, il suffit de changer d'axe et, pour obtenir les nouvelles caractéristiques, de se servir de la formule suivante établie à propos des pyroxènes :

$$(qrs) \equiv \left(3s : r. \frac{3s + 6q}{2}\right).$$

$(013)(0\bar{1}3) = 55^\circ 49'$ au lieu de $54^\circ 58'$
$(403)(\bar{4}03) = 99^\circ 48'$ $\quad 99^\circ 22'$

Système asymétrique.

Cristaux d'apparence binaire.

Sphène : 0,75467 : 1 : 0,85429, $zx = 60^\circ 17'$. — Les cristaux se maclent suivant les plans (100), (001), (409).

Or, en multipliant le premier par $\frac{3}{2}$ et le dernier par $\frac{4}{3}$, on obtient : 1,1320 : 1 : 1,13905. Or, dans le type diopside, le rapport de la grande diagonale du rhombe, perpendiculaire à l'axe ternaire, au paramètre de l'axe ternaire est égal à $\frac{4\sqrt{6}}{5\sqrt{3}} = \frac{4}{5}\sqrt{2} = 1,1312$. On voit donc que l'axe considéré comme binaire dans le Sphène est, en réalité, un axe quasi ternaire du réseau, et les deux autres axes de coordonnées sont deux grandes diagonales perpendiculaires à cet axe ternaire.

Si l'on remplace l'une d'elles par la rangée sensiblement

perpendiculaire sur l'autre, on obtient pour caractéristiques des plans de macles (100), $(3\bar{1}0)$, (310).

Il est facile de voir que la maille du réseau est un prisme sensiblement monoclinique ayant pour dièdres 89° 59, 89° 59 et 89° 44.

Compte rendu des publications étrangères.

R. W. Emerson Mac Ivor. — Tellure natif de Hannan's District (Australie Ouest) (*Chemical News*, t. LXXXII, p. 272 ; 1900).

Le tellure, finement granuleux, blanc, à aspect métallique, est associé à la pyrite. Sa composition est la suivante :

Te, 96,935 ; Au, 2,355. — Total : 99,334.

F. Rinne. — Influence de la présence du fer sur le changement d'état de la boracite (*N. Jahr. f. Min.*, 1900, t. II, p. 108-116).

Dans la boracite contenant une certaine quantité de protoxyde de fer (plus de 7,9 0/0), la température à laquelle se fait le passage de la forme rhombique à la forme cubique est plus élevée qu'avec les boracites peu ferrifères (285° au lieu de 265). A 285°, la biréfringence devient beaucoup plus faible, la répartition des plages biréfringentes change, et, à 400°, la substance n'est pas complètement monoréfringente

Ces anomalies sont attribuées par l'auteur à un mélange isomorphe d'une boracite magnésienne et d'une boracite ferrifère. Les échantillons de boracite ferrifère sont verdâtres et prennent progressivement la couleur vert bleuâtre foncé, quand on les chauffe.

Le Secrétaire, gérant,
PAUL GAUBERT.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1901. — BULLETIN N° 4.

Compte rendu de la séance du 13 juin 1901.

PRÉSIDENCE DE M. WYROUBOFF.

M. de SCHULTEN fait une communication sur la reproduction artificielle et les propriétés cristallographiques de la monétite, phosphate acide de chaux anhydre $HCaPO^4$.

M. LACROIX présente un cristal de cassitérite de la Villeder, remarquable par son grand allongement suivant les faces de l'octaèdre, ce qui lui donne une apparence orthorhombique.

M. WYROUBOFF fait remarquer que les cristaux de racémate de rubidium qu'il avait décrits jadis, ne sont, suivant l'observation très juste de M. Traube, qu'un mélange de tartrates gauche et droit. Ces cristaux se distinguent des tartrates cristallisés isolément par leurs anomalies optiques et l'absence du pouvoir rotatoire.

Sur le racémate de rubidium.

Par M. G. Wyrouboff.

J'ai décrit, il y a de cela une vingtaine d'années (1), un racémate de rubidium anhydre cristallisant en pseudorhomboèdres composés de trois individus plus ou moins biaxes. M. Traube (2) a fait remarquer que mon sel n'était qu'un mélange à parties égales de tartrate droit et de tartrate gauche et que le racémate de rubidium cristallisait avec 2 molécules d'eau, en gros cristaux clinorhombiques.

L'examen plus attentif de mes anciens cristaux et de cristaux récemment préparés, m'a permis de constater que l'observation de M. Traube était parfaitement exacte. Cette observation est extrêmement intéressante, car c'est la première fois qu'on arrive à dédoubler l'acide racémique au moyen d'un sel simple à base inactive. Mais les cristaux sont très remarquables à un autre point de vue encore. Ce sont des pseudorhomboèdres portant en général de minces troncatures du rhomboèdre b^1 (01$\bar{1}$2) et du prisme hexagonal e^2 (10$\bar{1}$0). Ils sont donc fort différents des cristaux des tartrates droit et gauche, qui possèdent toujours plusieurs rhomboèdres et dans lesquels les formes directe et inverse de chaque rhomboèdre sont, en général, à peu près en équilibre.

Lorsqu'on taille une lame perpendiculairement à l'axe ternaire de ces pseudorhomboèdres, on constate qu'ils sont tous *sans exception* composés de trois individus plus ou moins biaxes (*fig.* 1).

M. Traube a décrit des cristaux présentant un assemblage

(1) *Bull. Soc. Min.*, VI, p. 58; 1883.
(2) *N. Jahrb. f. Miner.*, Bl. Bd. p. 795; 1895.

d'un individu droit et d'un individu gauche et donnant en lumière convergente des spirales de Airy. Cette observation n'est pas exacte, car les cristaux, même dans les plages à peu près uniaxes, *n'ont point de pouvoir rotatoire*. Les courbes irrégulières simulant plus ou moins des spirales

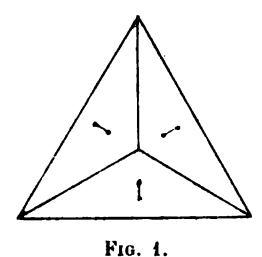


Fig. 1.

qu'on aperçoit dans les individus un peu épais et aux faibles grossissements, tiennent à la superposition des trois images à 120°; dans les lames plus minces et aux forts grossissements, qui permettent de pointer chacune de leurs plages, ces irrégularités disparaissaient, et l'on aperçoit très nettement les trois systèmes d'axes. J'ai montré que le tartrate droit ou gauche de rubidium, cristallisant isolément, ne présente que rarement de très légères anomalies, et qu'il est doué du pouvoir rotatoire parfaitement régulier. Le mélange des sels des deux acides de rotation inverse se comporte donc comme un mélange isomorphe; on sait, en effet, que, dans de semblables mélanges, les corps pseudosymétriques présentent toujours des anomalies. Mais isomorphisme signifie ressemblance, non identité; il faut conclure de là que les deux tartrates inverses ne sont pas *physiquement* identiques, comme on l'admet généralement.

Le véritable racémate rubidique $C^4H^4O^6Rb^2,2H^2O$ s'obtient facilement lorsqu'on cristallise à une température infé-

rieure à 20° en gros cristaux tabulaires. La forme de ces cristaux convenablement orientés rappelle beaucoup celle du racémate potassique à $2H^2O$. On ne saurait cependant considérer ces deux formes comme isomorphes, car si la concordance dans la zone h^1g^1 (100 010) est satisfaisante et les angles $p\ h^1$ (001 100) très voisins, les différences des angles dans les zones pg^1 (001 010) et ph^1 (001 100) dépassent de beaucoup les écarts que l'isomorphisme tolère, comme on le verra dans le tableau ci-dessous.

J'ai conservé pour le sel de potassium l'orientation choisie par Des Cloizeaux et reproduite dans l'ouvrage de Rammelsberg, ce qui donne pour les faces observées du sel rubidique les symboles : p (001) h^1 (100) $o^{1/2}$ (201) $a^{1/2}$ (20$\bar{1}$) $e^{1/2}$ (021) et x (241). Clivages faciles g^2 (010) et $a^{1/2}$ (20$\bar{1}$) — le sel potassique ne possède pas de clivage.

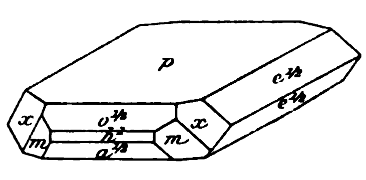


FIG. 2.

0.9024 : 1 : 0.6323 ; $\gamma = 91°42'$
0.8866 : 1 : 0.7521 ; $\gamma = 91°28$ sel potassique

Angles	Calculés	Mesurés	Sel potassique Calc. Dx.
ph^1 (001 100)	—	*91° 42	92° 28'
$h^1o^{1/2}$ (100 201)	—	*145° 4'	150° 8'
$h^1a^{1/2}$ (100 $\bar{2}$01)	143° 56'	143° 50'	148° 51'
mh^1 (110 100)	—	*137° 57'	138° 30'
mm (1$\bar{1}$0 110)	95° 34'	—	96° 56'
$e^{1/2}p$ (021 001)	128° 21'	128° 16'	123° 38'
$a^{1/2}e^{1/2}$ ($\bar{2}$01 021)	110° 30'	—	105° 23'

Angles	Calculés	Mesurés	Sel potassique Calc. Dx.
$e^{1/2}h^1$ (021 100)	91° 3′	—	91° 22′
$a^{1/2}m$ ($\bar{2}01$ $\bar{1}10$)	126° 53	126° 50′	—
xx ($2\bar{4}1$ 241)	69° 15	69° 13′	—
xh^1 (241 100)	117° 46	117° 44′	—

Le plan des axes optiques est parallèle au plan de symétrie. La bissectrice aiguë négative fait, avec l'axe vertical dans l'angle aigu γ, un angle de 82°, 18′ 2 V = 56°, 6 ; $\beta = 1.488$.

Dispersion très faible $\rho > \nu$.

Sur les tellurures d'or et d'argent de la région de Kalgoorlie (Australie occidentale).

PAR M. AD. CARNOT.

On a beaucoup remarqué, à l'Exposition universelle de 1900, les riches minerais d'or et, en particulier, les magnifiques spécimens de tellurures, que la Commission de l'Australie occidentale a présentés dans son pavillon du Trocadéro.

Ces minerais tellurés ont été fournis principalement par les champs d'or (*Gold fields*) de Coolgardie-Est ou *Kalgoorlie*, situés dans le district de l'Est de l'Australie occidentale.

M. Holroyd, représentant de la Commission, a eu l'obligeance de m'offrir, pour le musée de l'École supérieure des Mines, quelques échantillons de ces tellurures, en me priant de lui en donner une analyse détaillée. Je m'y suis prêté avec plaisir, d'autant plus que je n'avais eu jusqu'ici aucune occasion d'analyser de semblables minerais.

Le district aurifère de Kalgoorlie a été découvert en 1893 : mais on n'a reconnu tout d'abord que des placers superficiels. Plus tard, on a trouvé les tellurures et c'est surtout en 1899 que les mines ont pris un grand développement. Elles ont été décrites dans deux Mémoires publiés dans les *Annales des Mines* en 1899 (1) et 1901 (2).

Les minerais tellurés paraissent former des filons presque verticaux, à remplissage quartzeux, d'orientation nord-ouest, dans une bande de terrain large de 250 mètres à 300 mètres. Ces veines sont interstratifiées dans des amphibolites schisteuses, auxquelles, dans le pays, on donne communément le nom de *diorites*. Les minerais sont très altérés dans les niveaux supérieurs et le métal précieux s'y trouve, en général, à l'état d'or libre, tandis que, lorsqu'on descend jusqu'au niveau hydrostatique, les épontes sont plus nettes et les métaux sont à l'état de tellurures non décomposés.

Ce sont ces tellurures qui constituent la collection offerte par M. Holroyd. Ils m'ont été remis dans six petits tubes de verre, numérotés de 1 à 6. Les fragments contenus dans le tube n° 1 viennent de la mine *Lake View Consols* ; les autres sont tous marqués comme extraits de la mine *Great Boulder Proprietary* ; mines qui sont, l'une et l'autre, situées dans le voisinage de la ville de Kalgoorlie.

J'ignore si les fragments réunis sous un même numéro proviennent d'un seul et même endroit ou de gîtes différents : mais j'ai remarqué que, dans un même tube, ils n'avaient pas tous le même aspect et la même couleur. Aussi ai-je cru devoir prendre la précaution d'analyser séparément les fragments d'apparence différente, lorsque la quantité de matière le permettait. J'ai été ainsi conduit à faire neuf analyses distinctes, dont voici les résultats :

(1) M. Gascuel, *Notes sur les champs d'or de Coolgardie.*
(2) M. Küss, *L'industrie minière de l'Australie occidentale.*

	N° 1	N° 2		N° 3	
		(a)	(b)	(a)	(b)
Te............	60,45	56,55	53,70	32,33	33,00
Au............	29,85	23,15	27,75	24,16	23,42
Ag............	9,18	16,65	13,60	41,22	41,37
Hg............	»	3,10	3,70	2,00	2,26
Cu............	0,15	0,10	0,25	0,10	0,16
Ni............	0,10	»	»	»	»
Fe............	»	traces	traces	»	»
Sb............	»	0,20	0,15	»	»
	99,73	99,75	99,15	99,81	100,21

	N° 4	N° 5	N° 6	
			(a)	(b)
Te..............	60,30	51,13	31,58	41,11
Au..............	33,90	37,06	23,58	26,10
Ag..............	4,82	4,71	43,31	30,43
Hg..............	»	3,70	0,88	0,70
Cu..............	0,63	0,88	0,20	0,60
Fe..............	traces	0,90	traces	0,40
Sb..............	»	1,20	0.30	0,80
	99,65	99,58	99,85	100,24

N° 1. — Le premier lot de tellurures était fort exigu ; j'ai dû procéder avec un extrême ménagement pour en conserver 1 gramme environ, destiné à servir de type. Ce tellurure se distingue de tous les autres par un clivage net et brillant et une cassure inégale dans une direction voisine ; la structure est un peu fibreuse et conchoïdale dans les autres sens. Le clivage a un éclat métallique ; la couleur en est blanc d'argent, tandis qu'ailleurs elle est plutôt gris d'acier.

D'après l'analyse, le rapport moléculaire du tellure aux métaux est de 4,72 pour 2,38. La composition moléculaire

est donc exprimée très exactement par la formule :

$$(Au, Ag) Te^2.$$

Or cette formule est celle adoptée pour la *Sylvanite* d'Offenbanya. Les proportions relatives d'or et d'argent sont sensiblement les mêmes que dans le tellurure de Transylvanie, c'est-à-dire voisines de 3 : 1.

N° 2. — Les fragments du deuxième lot ne montrent que par exception des indices de clivages plans; la cassure est presque partout conchoïdale. La couleur est, suivant les morceaux, gris de fer ou gris jaune tirant sur le bronze. Cette diversité même m'a décidé à faire séparément l'analyse de deux fragments ; mais les résultats se sont trouvés peu différents, comme on peut le voir au Tableau ci-dessus.

Il y a seulement substitution entre des proportions correspondantes d'or et d'argent, d'où paraissent résulter les différences de coloration observées. Quant au rapport du tellure à l'ensemble des métaux, il reste à peu près constant (4,19 et 4,41 pour 2,85 et 2,87). La composition moléculaire répond donc à la formule :

$$(Au, Ag, Hg,)^2 Te^3.$$

Cette composition ne semble pas avoir été observée jusqu'ici dans d'autres tellurures. Les échantillons de Great Boulder constituent donc une espèce nouvelle, caractérisée par la formule d'un sesquitellurure en même temps que par la présence des troix métaux : or, argent, mercure.

Je propose de donner à cette espèce, à raison de son origine, le nom de *Coolgardite*.

N° 3. — Les fragments compris sous le n° 3 sont tous d'apparence semblable : ils ne sont pas cristallisés et n'ont

aucun clivage plan, mais des cassures largement conchoïdales. La couleur est gris d'acier foncé, passant au noir de fer après un certain temps. Le minéral se brise et se pulvérise très aisément.

L'analyse faite sur deux fragments a donné des résultats à peu près identiques. Les rapports moléculaires ont été trouvés de 2,53 et 2,58 de tellure pour 5,15 et 5,13 des trois métaux réunis (or, argent et mercure). La formule de composition est donc :

$$(Au, Ag, Hg)^2Te.$$

La *Petzite*, depuis longtemps connue, répond à la même formule, sauf que ni les analyses de Petz et de Genth sur les échantillons de Transylvanie et du Colorado, ni celles de Rickard sur ceux de l'Australie n'ont mentionné la présence du mercure.

Pittmann (1), au contraire, a indiqué (d'après une analyse de Mingaye) 10,86 pour 100 de mercure dans un échantillon venant de Kalgoorlie et a donné à ce minéral le nom de *Kalgoorlite*, en lui attribuant la formule de composition :

$$Au^2\ Ag^6\ Hg\,Te^6.$$

Mes analyses ont nettement établi la présence du mercure, mais dans une proportion beaucoup moindre. Néanmoins, pour ne pas multiplier inutilement les variétés minérales, je crois pouvoir attribuer le nom de *Kalgoorlite* au minéral que j'ai analysé.

N° 4. — Le minéral est gris légèrement jaunâtre avec quelques portions plus foncées, d'un gris noirâtre. La cas-

(1) *Records Geol. Survey New South Wales*, V, p. 203 ; 1898.

sure est conchoïdale et, en même temps, un peu inégale, mais sans clivage proprement dit. D'après l'analyse, la composition moléculaire est bien représentée par la formule :

$$(Au, Ag) Te^2,$$

qui est celle de la Sylvanite; mais la proportion d'argent est beaucoup moindre dans ces échantillons que dans ceux d'Offenbanya et de Lake Wiew Consols, tandis qu'ils contiennent, au contraire, plus d'or et un peu de cuivre. On peut assimiler ce minéral à la variété gris jaune ou jaune de bronze, sans structure cristalline, trouvée à Calaveras Co., analysée par Genth et nommée *Calavérite*, variété qui présente la même formule moléculaire : (Au, Ag) Te^2.

N° 5. — Les fragments compris sous ce numéro sont d'un gris jaunâtre, avec cassure conchoïdale, montrant comme des feuillets courbes. La composition chimique est celle d'un tellurure complexe, où l'on remarque la présence simultanée du mercure et de l'antimoine en quantités assez notables. La composition moléculaire correspond à :

$$(Au, Ag, Hg, Cu, Fe, Sb)^2 Te^3$$

ou, plus simplement,

$$(Au, Ag, Hg)^2 Te^3.$$

Elle se rapproche donc de celle du sesquitellurure que nous avons déjà rencontré sous le n° 2 et que nous avons appelé *Coolgardite;* mais l'argent y est en proportion beaucoup moindre; il y a plus d'or et de métaux divers.

N° 6. — Les échantillons du n° 6 sont d'une teinte gris noir. Ils sont beaucoup plus volumineux, en général, que

les précédents, mais ressemblent à un agrégat de petits éléments, sans faces, ni cassures conchoïdales un peu étendues. Leur éclat métalloïde et leur cassure inégale et conchoïdale en petit rappellent l'aspect de certaines anthracites.

Les deux échantillons soumis à l'essai et dont l'analyse figure au Tableau général ont fourni des résultats sensiblement différents, qui correspondent, pour l'un (*a*) à la formule $(Au, Ag)^2 Te$, pour l'autre (*b*) à la formule $(Au, Ag)^4 Te^3$.

Le premier paraît se rapporter au type de la *Kalgoorlite*. Le second semble devoir être considéré comme un mélange de variétés diverses, ce qui n'a pas lieu de surprendre pour un minéral d'aspect confus et qui ne possède aucun caractère cristallin.

L'analyse permet d'y voir un agrégat des deux variétés de tellurures, que j'ai désignées plus haut sous les noms de *Kalgoorlite* (n° 3) et de *Coolgardite* (n°s 2 et 5).

En résumé, les échantillons de tellurures de l'Australie occidentale, dont j'ai donné plus haut les analyses, se rapportent aux variétés suivantes :

La *Sylvanite*, bitellurure d'or et d'argent $(Au, Ag)Te^2$, à texture cristalline (échantillon n° 1) ;

La *Calavérite*, bitellurure analogue au précédent, mais beaucoup moins cristallin et contenant une moindre proportion d'argent (échantillon n° 4);

La *Coolgardite* ou sesquitellurure d'or, argent et mercure

$$(Au, Ag, Hg)^2 Te^3,$$

avec proportions variables de l'or et de l'argent, qui se substituent l'un à l'autre dans une large mesure [échantillons n° 2 (*a* et *b*) et n° 5] ;

La *Kalgoorlite* (Au, Ag, Hg)^2 Te, où les proportions relatives des métaux sont également variables [échantillons n° 3 (*a* et *b*) et n° 6 (*a*)]. L'échantillon 6 (*b*) paraît être un agrégat des deux dernières variétés, la Kalgoorlite et la Coolgardite.

Méthode d'analyse.

Il me reste à faire connaître la manière dont j'ai procédé à l'analyse des tellurures de l'Australie occidentale.

J'ai opéré, autant que possible, sur 1 ou 2 grammes du minéral exempt de gangue.

Après pulvérisation et pesée, la matière est attaquée par l'acide azotique pur dans une capsule de porcelaine ; on chauffe jusqu'à disparition des vapeurs rutilantes, et on reprend par de l'eau faiblement acidifiée, puis on décante sur un tout petit filtre afin de retenir les parcelles extrêmement fines, qui pourraient être entraînées. On recommence ainsi trois ou quatre fois et on termine par un lavage à l'eau chaude.

On aura à s'occuper dans la suite : du résidu insoluble A et de la solution azotique B.

A. Le résidu insoluble, qui est de couleur plus ou moins noire ou bronzée, est traité dans la capsule et sur le filtre par l'acide chlorhydrique et quelques gouttes d'acide azotique ; on chauffe, puis on étend d'eau froide et on fait passer sur le petit filtre, qui retient, avec une quantité de gangue très petite ou même nulle, un peu de chlorure d'argent. Après lavage, on redissout le chlorure d'argent par un peu d'eau ammoniacale et on le précipite de nouveau, en acidifiant par l'acide azotique, pour le joindre à la partie principale de l'argent venant de la solution B.

La liqueur chlorhydrique jaune contient la totalité de l'or,

une petite portion du tellure et quelquefois un peu d'antimoine. On élimine entièrement l'acide azotique par évaporation lente avec un excès d'acide chlorhydrique et un peu de sel ammoniac; dans la liqueur un peu diluée, mais encore très acide et chauffée vers 60°, on ajoute de l'acide oxalique, pour réduire seulement le sel d'or. Le dépôt s'effectue et la liqueur se décolore; on termine à la température d'ébullition, puis on reçoit le dépôt sur un filtre, on lave à l'eau bouillante, on calcine et on pèse l'*or* métallique.

Dans la solution filtrée, fortement acide et chaude, on fait passer un courant d'anhydride sulfureux, on laisse agir quelque temps et ensuite on porte à l'ébullition. On reçoit sur un filtre taré le précipité de *tellure*, qu'on lave bien à l'eau chaude et auquel on ajoutera plus tard la portion principale du tellure, qui a passé dans la solution B.

La liqueur filtrée, chauffée jusqu'à disparition de toute odeur sulfureuse, est étendue d'eau et soumise à l'action de l'hydrogène sulfuré. S'il se produit un précipité orangé de sulfure d'*antimoine*, on le recueille sur un petit filtre taré et on le pèse après dessiccation.

B. La solution azotique contient la majeure partie de l'argent et du tellure, ainsi que la totalité du mercure, du cuivre, du nickel et du fer.

On y précipite l'argent par de l'acide chlorhydrique étendu, versé peu à peu jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de trouble; on agite vivement et, quand la liqueur est éclaircie, on reçoit sur un filtre taré le chlorure d'argent précipité dans cette opération, ainsi que celui qui a été isolé dans le traitement du résidu insoluble A, pour faire en une seule fois le dosage de l'*argent*.

On évapore la dissolution filtrée avec un peu d'acide sulfurique, dans une assez grande capsule de porcelaine, jusqu'à apparition des vapeurs sulfuriques; on réussit de cette

manière à éliminer tout l'acide azotique, sans projection et sans qu'il y ait suroxydation de l'acide tellureux, dont la réduction ultérieure reste assez facile.

On reprend alors par l'acide chlorhydrique en suffisante quantité. La solution est fortement colorée en jaune ; elle devient presque incolore par addition d'eau. On la chauffe vers 100° dans une fiole de verre, puis on l'écarte du feu et on y fait passer un courant de gaz sulfureux, fourni par un siphon chargé d'anhydride sulfureux liquide. Le précipité gris noir de tellure se forme bientôt en abondance et il est généralement complet au bout de 10 à 15 minutes ; on chauffe vers 100° pour faciliter le dépôt, puis on décante une partie de la liqueur claire et on renouvelle l'action du gaz sulfureux. S'il ne se fait pas de trouble nouveau, on reçoit le précipité sur le filtre taré, où l'on a déjà retenu le tellure trouvé dans le résidu A. On achève le lavage à l'eau bouillante, on sèche à 100° et on prend le poids de tout le *tellure*.

La dissolution chlorhydrique peut encore contenir du mercure, du cuivre, du nickel et du fer.

Après expulsion du gaz sulfureux, on y fait arriver un courant d'hydrogène sulfuré et, après repos en fiole bouchée, on recueille le précipité noir formé des sulfures de mercure et de cuivre. On dissout le *cuivre* seul par l'acide azotique et on le transforme alors, suivant la quantité, soit en sulfure Cu^2S pour un dosage pondéral, soit en une solution ammoniacale bleue pour un dosage colorimétrique.

Le sulfure de *mercure* resté seul inattaqué par l'acide azotique, est mis en digestion dans le sulfhydrate d'ammoniaque, puis lavé, séché et pesé. On s'assure, d'ailleurs, que l'on a bien affaire à du sulfure de mercure en le dissolvant dans un peu d'eau régale, puis saturant en partie par de la potasse et ajoutant de l'iodure de potassium par très petites

quantités à la fois. Le réactif produit un précipité jaune et ensuite rouge, tout à fait caractéristique, qui se redissout, si l'on en ajoute davantage.

Le *fer* et le *nickel* ne sont guère qu'à l'état de traces; on les reconnaît et on les sépare, après expulsion de l'hydrogène sulfuré et peroxydation, en précipitant par l'ammoniaque l'hydrate ferrique et observant la coloration bleue de la liqueur produite par la présence du nickel.

L'essai de quelques fragments de tellurures par l'eau régale et le chlorure de baryum m'a donné, pour la recherche du *soufre*, des résultats négatifs.

Telle est la méthode qui m'a fourni les résultats donnés plus haut pour la composition des tellurures d'or, argent et mercure de l'Australie occidentale.

Le Secrétaire gérant,
PAUL GAUBERT.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1901. — BULLETIN N° 5.

Compte rendu de la séance du 15 avril 1901.

PRÉSIDENCE DE M. WYROUBOFF.

M. LE PRÉSIDENT annonce une présentation.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une circulaire de M. le Ministre de l'Instruction publique relative à *l'International catalogue of Scientific Litterature*. La Société souscrit au volume *Mineralogy*.

Note sur la constitution chimique des plagioclases calcosodiques.

Par M. W. TARASSENKO.

Dans mon travail actuel, j'ai voulu, par une analyse chimique très soignée des plagioclases du même gisement, mais de poids spécifiques différents, répondre d'une façon précise

à la question suivante : Dans un magma donné, les plagioclases, d'une composition chimique déterminée, se forment-ils seuls ou bien se produit-il des feldspaths, à composition progressivement variable suivant le degré de solubilité dans le magma des silicates d'albite et d'anorthite, ce qu'on croyait comme l'affirmation de la théorie de Tschermak (1)?

Parmi les roches que j'ai eues à ma disposition, les plus propres, pour répondre à cette question, se sont trouvées celles de la famille des gabbros, très répandues dans les gouvernements de Volynie et de Kiew. Très souvent on trouve parmi ces roches des gabbros et des norites à grands grains, dans lesquels le diamètre des individus des macles polysynthétiques des plagioclases est de plusieurs centimètres, et c'est pourquoi, par le choix préalable du plagioclase pour l'analyse chimique, il était possible d'avoir des matériaux relativement homogènes.

Je me suis arrêté sur des plagioclases du village Selisthsché (district d'Owroutsch, gouvernement de Volynie et du bourg Sorodistschée (district de Tscherkassy, gouvernement de Kiew), parce que ces plagioclases ont cristallisé dans des magmas de composition tout à fait différentes, et, par conséquent, dans des conditions aussi différentes. La roche de Selistsché se compose presque exclusivement de plagioclase, qui, au microscope, ne renferme presque pas d'inclusions. La roche de Soradistsché, au contraire, se compose de minéraux, à savoir : d'hypersthène, de différents diallages, de fer titané, de hornblende, de biotite, d'apatite, de pyrite, d'orthose, de quartz et de plagioclase. Et, en même temps, ce dernier est très riche en inclusions plates et aciculaires, propres au labrador du gabbro; outre cela ce plagioclase contient aussi des lamelles microscopiques d'orthose. Je

(1) Retgers, *Zeitschr. f. Kryst. u. Min.*, bd. XI, p. 415 ; — *Zeitschr. f. phys. Chemie*, bd. XIV, p. 50.

me hâte d ajouter que, dans la roche de Sorodistsché, on trouve, par endroits, du granit qui est quelquefois en filons, le caractère des *schilières hystérogénétiques* (1).

PLAGIOCLASE DE SELISTSCHÉ.

J'ai choisi d'abord, et sur des points divers de la roche, environ 75 grammes de débris de clivage de plagioclase, où, sur la face *p* de chacun de ses débris, on voyait très clairement des stries de la macle de l'albite.

Après la pulvérisation j'ai obtenu 25gr,5 de plagioclase, dont le diamètre des grains était de 0,9 — 0,6mm. J'ai séparé ces 25gr,5 au moyen de la liqueur dense de Thoulet en six parties :

	Poids spécifique	Quantité en grammes	Quantité en 0/0
1er lot...	< 2,647	0,5	2,04
2e —	2,647 — 2,669	1,1	4,48
3e —	2,669 — 2,675	9	36,63
4e —	2,675 — 2,680	11	44,77
5e —	2,680 — 2,710	2,9	11,80
6e —	> 2,710	0,07	0,28

Lorsqu'au microscope j'ai séparé les grains, qui contenaient des inclusions microscopiques des minéraux étrangers, j'ai obtenu alors du plagioclase pur :

Poids spécifique	Quantité en grammes
2,677 — 2,669	1,02
2,669 — 2,675	8,2
2,675 — 2,680	9,55
2,680 — 2,710	2,2

(1) ZIRKEL, *Lehr. d. Petrogr.*, 2e édition, vol. I, p. 791.

L'analyse chimique de ces quatre parties a donné les résultats suivants (1):

Poids spéc.	2,647-2,669	2,669-2,675	2,675-2,680	2,680-2,710
SiO^2.........	55,09	55,26	55,33	55,33
Al^2O^3........	28,44	28,25	28,30	28,02
$Fe^2O^3 + TiO^2$.	0,41	0,34	0,30	0,42
CaO.........	10,01	10,15	10,32	10,25
Na^2O.........	5,12	5,37	5,14	5,04
K^2O..........	1,11	1,05	0,98	1,26
Perte à 120° C.	0,11	0,04	0,08	0,03
Perte au feu...	0,35	0,36	0,33	0,36
	100,64	100,82	100,78	100,73

En éliminant la perte à 120° C. et celle au feu, la composition chimique est la suivante:

Poids spéc.	2.647-2,669	2,669-2,675	2,675-2,680	2,680-2,720
SiO^2....	55,22	55,21	55,29	55,39
Al^2O^3...	28,51	28,23	28,28	28,05
CaO....	10,03	10,14	10,31	10,26
Na^2O...	5,13	5,37	5,14	5,04
K^2O.....	1,11	1,05	0,98	1,26

On voit que, la composition moyenne du plagioclase de Selistsché, calculée d'après les quatre analyses précédentes, correspond assez exactement avec la formule simple $Ab^1\ An^1$ ($Or^1\ Ab^7\ An^8$), à condition de considérer que le potassium remplace le sodium. Les trois séries des chiffres suivants rendent évidente cette conclusion.

(1) La pureté de SiO^2 se déterminait au moyen de HF et, pour réparer Al^2O_3 de CaO, on précipitait le premier deux fois. Le potassium se déterminait en forme de $K^2\ Pt\ Cl^6$ qui ensuite est calciné.

	La composition théorique du plagioclase $Or^1 Ab^7, An^8$	La composition moyenne du plagioclase de Selistsché	Différence
SiO^2...	55,22	55,28	+ 0,06
Al^2O^3..	28,44	28,27	— 0,17
CaO...	10,31	10,18	— 0,13
Na^2O..	5,07	5,17	+ 0,10
K^2O...	0,96	1,10	+ 0,14

Maintenant, pour se persuader combien le résultat de mes analyses ne correspond pas à la théorie de Tschermak, si l'on détermine la composition chimique d'après le poids spécifique observé, comme l'a fait Retgers pour ses courbes feldspathiques (1), il suffit de comparer les quatre séries de nombres suivants :

	I	II	III	IV
SiO^2..	61,93	55,03	6,90	0,18
Al^2O^3.	24,05	28,70	4,65	0,46
CaO..	5,41	10,85	5,44	0,28
Na^2O.	8,61	5,42	3,19	0,33

Les séries I et II expriment la composition théorique des plagioclases de poids spécifique 2,658 et 2,695 (2), la série III indique la différence entre les deux premières séries, la série IV donne la différence entre le maximum et le minimum pour tous les oxydes déterminés par l'analyse.

Outre la composition chimique des quatre lots du plagioclase de Selistsché, j'ai déterminé aussi l'extinction sur les faces p et g^1 des plaques bordées par des faces de cli-

(1) *L. c.*

(2) 2,658 représente la moyenne de 2,647 et 2,669. 2,695 représente celle de 2,680 et 2,710.

vage unies et parallèles. J'ai obtenu les nombres moyens suivants (1) :

Poids spéc.	2,647 — 2,669		2,669 — 2,675		2,675 — 2,680		2,680 — 2.710	
	p	g^1	*p*	g^1	*p*	g^1	*p*	g^1
1^{re} plaque	5,7° 7,2°	— 14,7°	8,2° 5,5°	— 15,6°	5,2° 6°	— 13,9°	4,7° 4,6°	— 14.8°
2° plaque	6,6° 5,2°	— 17,9°	6,1° 6,2°	— 12,5°	5° 4,2°	— 13,9°	4,5° 6,1°	— 13,9°
3° —	6°	— 12,5°	6,2° 4,5°	— 18,2°	6,7° 5°	— 16,1°	5,7°	— 12.2°
4° —	4,1°	— 14,4°	4,3°	— 16,2°	6,2°	— 13,5°	5,2°	— 13.4°
5° —	7,7°	— 16,8°	4,7°	— 12,7°	4,7°	— 13,9°	4,7°	— 11.4°
6° —	5,8°	— 15,1°	6.5°	— 13,8°	4,7°	— 16,4°	4,7°	— 12.1°
7° —	5,1°	— 11,8°	4,9°	— 15,7°	5,6°	—	4,8°	—
8° —	4,6°	— 15,1°	5,2°	— 13,1°	3,9°	—	5,7°	—
9° —	4,7°	— 15,1°	5,1°	— 14,9°	4,9°	—	6,1°	—
10° —	6,4°	—	6,4°	—	6,1°	—	5,8°	—
11° —	5,7°	—	5,2°	—	5,7°	—	6°	—
12° —	5,7°	—	—	—	4,2°	—	5,7°	—
13° —	—	—	—	—	4°	—	6,4°	—
14° —	—	—	—	—	—	—	4,9°	—
La moyenne	5,7°	— 13,5°	5,6°	— 14,7°	4,7°	— 14,6°	5.4°	— 12.8°

Pour résoudre la question de la constitution chimique des plagioclases, le moyen de leur décomposition incomplète par des acides peut avoir aussi son importance. Ce moyen a été appliqué aux plagioclases par Sandberger, Rammelsberg et Jannasch. Celui-ci (2) avait fait des expériences avec le labrador de l'île de Saint-Paul et était arrivé à cette conclusion, que la partie décomposée dans l'acide chlorhydrique, comme celle non décomposée, ont la même composition chimique.

J'ai appliqué ce procédé à la partie du poids spécifique 2,675-2,680, et j'ai fait deux expériences. Pour la première, j'ai pris $1^{gr},0862$ de plagioclase et j'y ai ajouté de

(1) Je déterminais l'extinction dans chaque plaque sur la face *p* pour une seule série de lamelles hémitrophes, lorsque la seconde série de lamelles hémitropes était trop mince.

(2) *Neues Jahrbuch. f. Min.*, 1884, bd. II, 542.

l'acide chlorhydrique de poids spécifique 1,19. Après l'avoir chauffé dans un bain de vapeur pendant 134 heures, j'ai trouvé 94,74 0/0 de plagioclase décomposé. Dans la deuxième expérience, j'ai pris 1^{gr},1898, que j'ai chauffé avec l'acide chlorhydrique du même poids spécifique pendant 43 heures; cette fois-ci, il y avait 51,39 0/0 de poudre décomposée.

L'analyse a donné les résultats suivants (1) :

	I	II	III	IV
SiO^2	54,13	54,40	57,05	54,74
$Al^2O^3 + Fe^2O^3 + TiO^2$.	28,06	28,98	27,19	28,44
CaO	10,03	10,14	9,85	10,67
Na^2O	6,27	5,45	4,94	5,13
K^2O	1,51	1,03	0,97	1,02

Il importe de remarquer que I exprime la partie non décomposée; II, la partie décomposée pendant la première expérience; III et IV traduisent les mêmes séries de nombres obtenus pendant la seconde expérience. Les résultats de toutes les analyses ont été rapportés à cent.

LE PLAGIOCLASE DE SORODISTSCHÉ.

J'ai choisi, sur des points divers de la roche, 158 grammes de débris de clivage du plagioclase, qui avaient des stries hémitropes très nettes. Après la pulvérisation, j'ai obtenu environ 50 grammes de débris 0,6 — 0,9 millimètres de diamètre. Ces 50 grammes ont été divisés dans la liqueur dense de Thoulet en neuf lots suivants :

(1) Après l'action HCl,SiO^2, j'extrayais de la poudre non décomposée dans la première expérience par $NaCO^3$ et NaHO, dans la seconde seulement par Na^2CO^3. La partie non décomposée était traitée par HF, de sorte que SiO^2 se déterminait par différence.

	Poids spécifique	Quantité en grammes	Quantité en 0/0
1er lot..	> 2,756 — 2,710	1,2	2,51
2e —	2,756 — 2,710	4,1	8,58
3e —	2,710 — 2,698	6,2	12,97
4e —	2,698 — 2,697	8,8	18,41
5e —	2,697 — 2,692	13,5	28,24
6e —	2,692 — 2,680	8,5	17,46
7e —	2,680 — 2,669	3,5	7,32
8e —	2,669 — 2,647	1,6	3,35
9e —	< 2,647	0,7	1,46

Après la purification au microscope, j'ai séparé en parties (1) destinées à l'analyse les sept quantités suivantes :

Poids spécifique	Quantité en grammes
2,756 — 2,710	1,5
2,710 — 2,698	3,2
2,698 — 2,697	5,4
2,697 — 2,692	4,3
2,692 — 2,680	4,5
2,680 — 2,669	2,2
2,669 — 2,647	1,4

L'analyse de ces sept parties a été fait par moi de la même manière que celle du plagioclase de Selistsché et a donné les résultats suivants :

Poids spécifique	2,647-2669	2,6692,680	2,680-2,692	2,692-2.697	2,697-2,698	2,098-2,107	2.710-2.7[illegible]
SiO_2..........	53,98	53,97	53,93	53,44	53,10	52,52	52,34
Al^2O^3........	29,38	28,94	29,32	29,27	29,37	30,17	27,81
$Fl^2O^3 + TiO^2$.	1,05	0,68	0,81	0,60	0,81	0,70	2,02
MgO.........	0,08	0,09	0,09	0,06	0,09	0,03	0,24
CaO..........	10,87	11,16	11,52	11,68	11,86	12,13	11,83
Na^2O.........	4,32	4,55	4,56	4,60	4,42	3,70	4,62
Ni^2O.........	1,33	0,92	0,87	0,91	0,89	0,79	0,71
Perte à 120° C..	0,10	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06
Perte au feu..	0,46	0,31	0,33	0,32	0,26	0,35	0,39
	101,57	100,67	101,47	100,94	100,87	100,44	101,02

(1) Les parties du poids spécifique < 2,647 et > 2,756 n'ont pas pu être analysées, parce que la quantité de plagioclase pur était insuffisante.

Les nombres ci-dessus expriment la composition chimique des mêmes sept parties, après l'élimination de MgO, Fe^2O^3, TiO^2, de la perte à 120° C. et de la perte au feu.

Poids spécifique	2,647-2,669	2669-2.680	2.680-2,692	2,692-2697	2,697-2,698	2,698-2,710	2,710-2756
SiO^2........	53,99	54,16	53,78	53,45	53,23	52,86	53,07
Al^2O^3.......	29,46	29,11	29,30	29,33	29,51	30,39	29,41
CaO	10,89	11,23	11,51	11,70	11,92	12,23	12,08
Na^2O.......	4,33	4,57	4,56	4,61	4,45	3,73	4,72
K^2O.........	1,33	0,93	0,87	0,91	0,89	0,79	0,72

C'est ainsi que la différence entre le maximum et le minimum des nombres pour les différents oxydes dans toutes les sept analyses serait :

SiO^2....	1,30
Al^2O^3...	1,28
CaO....	1,34
Na^2O...	0,99

Quant à la composition théorique des plagioclases du poids spécifique 2,658 (I) et 2,733 (1) (II) et aussi à la différence entre eux (III), elles se traduisent par les chiffres suivants :

	I	II	III
SiO^2...	61,93	48,07	13,86
Al^2O^3..	24,05	33,40	9,35
CaO...	5,41	16,32	10.91
Na^2O..	8,61	2,21	6,40

Les extinctions pour toutes ces sept parties ont été déterminées de la même manière que celles du plagioclase de Selistsché.

Le résultat a été :

(1) 2,655 représente la moyenne de 2,657 et 2,669; 2,733 représente celle 2,710 et 2,756.

L'angle d'extinction sur p. (001) (1).

Poids spécifique	2,647-2,669	2,669-2,680	2,680-2,692	2,692-2,697	2,697-2,698	2,698-2,710	2,710-2,7[illegible]
1re plaque	8,9°	8,6°	8,7°	7,4°	8,8°	6,7°	9,2°
	7,7°	7,5°	6,7°	8,2°	10,9°	9°	8,5°
2e —	8,5°	9°	6,7°	9,3°	7,1°	7,1°	7,3°
	6,9°	7,2°	8,2°	10,2°	8,8°	8,2°	6,7°
3e —	8,5°	9,2°	6,2°	8,2°	7,7°	7,8°	10,8°
	7,2°	7,9°	8,2°	9,6°	9,2°	9,2°	8,4°
4e —	8,2°	7,5°	11,9°	6,6°	7,8°	8,7°	6,5°
	7,7°	6,8°	10	7,4°	9°	11,	8,7°
5e —	7,9°	8,8°	8,6°	6,2°	6,4°	9,2°	7,1°
	5,8°	7,8°	9,7°	7,1°	8,8°	10,7°	8,8°
6e —	6,7°	8,2°	10,3°	7,5°	5,4°	9,7°	8,4°
	5,7°	6,9°	8,4°	8,7°	8,2°	11,6°	7,9°
7e —	8,2°	7°	9,2°	8,6°	8°	7,2°	12,3°
	6,9°	6°	5,8°	9,6°	6,9°	8,9°	7,8°
8e —	8,7°	8,8°	9,7°	9,6°	6,5°	8,5°	7,5°
	7,2°	7,9°	8,8°	10,6°	8,6°	10,2°	6,2°
9e —	6,4°	8,2°	6,7°	7,6°	9,4°	9,2°	—
	6,2°	6,7°	8°	8,4°	7,7°	12,2°	—
10e —	6,5°	9,7°	6,9°	6,8°	10,5°	9,2°	—
	5,7°	9°	8,6°	9°	9,1°	10,1°	—
11e —	—	9,7°	—	—	7,5°	—	—
	—	11,1°	—	—	7,9°	—	—
Moyenne	7,2°	8,2°	8,4°	8,3°	8,2°	9,2°	8,3°

L'angle d'extinction sur g^1 (010).

Poids spécifique	2,647-2,669	2,669-2,680	2,680-2,692	2,692-2,697	2,697-2,698	2,698-2,710	2,710-2,[illegible]
1re plaque	— 19,7°	— 23,4°	— 21, 1°	— 19, 8°	— 20, 1°	— 22,3°	— 23, [illegible]
2e —	— 20,8°	— 24,5°	— 20, 3°	— 17, 7°	— 18, 5°	— 23,3°	— 23, [illegible]
3e —	— 22,8°	— 19,9°	— 19, 2°	— 18, 7°	— 22°	— 23,4°	— 19, 4°
4e —	— 25,8°	— 18,7°	— 22° 3°	— 19, 6°	— 18, 6°	— 21,3°	— 21, 4°
5e —	— 20,7°	— 20,5°	— 20, 6°	— 24, 2°	— 22, 2°	— 25,1°	— 17, 9°
6e —	— 22,2°	— 18,8°	— 19, 5°	— 21, 3°	— 21, 6°	— 19,9°	— 23, [illegible]
7e —	— 21,5°	— 23,7°	— 20°	— 21°	— 18, 1°	— 21,7°	— 24, [illegible]
8e —	— 22,4°	— 22,9°	— 18, 1°	— 22, 3°	— 21, 9°	— 23,6°	— 22, [illegible]
9e —	— 20	— 22,5°	— 22, 8°	— 21, 7°	— 20, 4°	— 23,1°	—
10e —	— 19,6°	— 19,1°	— 24, 6°	— 25, 9°	— 19, 7°	— 19	—
11e —	—	— 19,8°	—	—	— 20, 3°	—	—
Moyenne	— 21,6°	— 21,2°	— 20, 9°	— 21, 3°	— 20, 1°	— 22,1°	— [illegible]

(1) L'angle d'extinction sur *p* est déterminé par rapport à la trace de la macle de l'albite d'un côté et de l'autre. Pour certaines plaques, il y avait relativement une grande différence d'extinction des deux séries de lamelles hémitropes. Il se peut que cela tienne, en partie, à l'influence de la position non symétrique des faces *p* de toutes les deux séries par rapport à l'axe du microscope.

Il résulte, de la comparaison de la composition chimique ci-dessus, que la quantité de potassium augmente à mesure que le poids spécifique du plagioclase diminue. En même temps les investigations microscopiques rendent évidente l'augmentation de la quantité des lamelles d'orthoclase enfermées dans le plagioclase, à mesure que le poids spécifique de celui-ci diminue. Par conséquent, pour avoir la composition chimique qui s'approche le plus de la vérité, il faut calculer la composition moyenne du plagioclase en se basant seulement sur les trois parties du grand poids spécifique. Dans les trois séries de nombres qui suivent, sont comparés : I, la composition moyenne déterminée par le mode susdit; II, la composition théorique du plagioclase de la formule Ab^2An^3 $(Or^2An^7An^{12})$, et III, la différence entre elles :

	I	II	III
SiO^2.....	53,05	53,00	+ 0,05
Al^2O^3....	29,77	29,88	— 0,11
CaO.....	12,08	12,28	— 0,20
Na^2O.....	4,30	3,98	+ 0,32
K^2O......	0,80	0,86	— 0,06

Les résultats de mes investigations, que je viens d'exposer dans ce travail, peuvent amener aux conclusions suivantes :

1° La composition chimique des plagioclases de Selistsché et de Sorodistsché, exprimée par des formules identiques (Ab^1An^1 et Ab^2An^3) et simples pour toutes les parties des poids différents, confirme plutôt l'opinion (1) d'après laquelle les plagioclases calcosodiques présentent des combinaisons définies et non pas des mélanges isomorphes ou morphotropes;

(1) M. Fouqué, *Bull. de la Soc. franç. de Min.*, t. XVII, p. 283; — M. Michel Lévy, *ibid.*, t. XVIII, p. 75; — *Compt. Rend.*, t. CXXI, p. 74; — M. Wallerant, *Bull. de la Soc. franç. de Min.*, t. XIX, p. 204.

2° Cette conclusion se confirme complètement par la détermination d'extinction sur *p* et g^1, puisque les variations des extinctions moyennes sur *p* et g^1 pour toutes les parties, non seulement ne sont pas plus grandes, mais, au contraire, elles sont moins grandes que les variations des extinctions sur chaque plaque en particulier de la même partie;

3° Les expériences de la décomposition du plagioclase de Selistsché par l'acide chlorhydrique ne confirment pas non plus la théorie de Tschermak, puisque la composition chimique de la partie décomposée dans HCl et celle non décomposée se sont trouvées presque identiques; mais la différence insignifiante, que l'on distingue dans leurs compositions, peut être considérée comme conséquence des fautes inévitables de l'analyse;

4° La théorie de Tschermak explique insuffisamment pourquoi la quantité de potassium dans toutes les parties des poids spécifiques différents du plagioclase de Selistsché est constante, et pourquoi la composition chimique de ce plagioclase peut être exprimée par la formule simple (Ab^1An^1), à condition, si l'on admet que le potassium s'y substitue au sodium.

R.-F. Rammelsberg.

Par G. Wyrouboff.

Le 23 décembre 1899, s'est éteint doucement, à l'âge de quatre-vingt-sept ans, un des hommes qui ont exercé en ce siècle le plus d'influence sur les progrès de la Minéralogie. Durant sa longue et laborieuse carrière, il a, par son enseignement, ses ouvrages didactiques et ses travaux ori-

ginaux, formé de nombreuses générations de savants et contribué plus que qui que ce soit à répandre le goût des recherches de chimie minérale. Il était avant tout chimiste, mais chimiste à l'ancienne manière, estimant que tout n'était pas fait quand on avait déterminé la composition d'un corps, qu'il fallait encore définir exactement ses propriétés géométriques et physiques.

Son idée fondamentale, qu'il a exposée dès le début de ses recherches et à laquelle il est resté fidèle jusqu'à la fin, c'est que la minéralogie n'est qu'un chapitre de la chimie, et que les corps naturels et les produits de laboratoire doivent être étudiés au même titre et par les mêmes procédés. Cette idée, qui peut paraitre contestable, n'a plus guère cours aujourd'hui. Il paraît évident, en effet, que la minéralogie, en tant que description des espèces individualisées ou associées dans les roches, est une branche de la géologie ; pourtant elle est fort juste, lorsqu'on se place à un certain point de vue. Les combinaisons chimiques naturelles ou artificielles obéissent aux mêmes lois et ont tout un ensemble de propriétés communes; elles doivent donc, par ce côté du moins, appartenir à la même branche du savoir.

Parmi les questions générales qui se présentent dans cet ordre de recherches, les rapports entre la composition et la forme — et l'isomorphisme qui n'en est, en quelque sorte, qu'un cas particulier — ont particulièrement préoccupé Rammelsberg. Ses longues et patientes recherches sur les composés les plus divers l'avaient amené à la conviction que l'analogie de la composition chimique n'était qu'accidentellement la cause de l'identité des formes; il croyait que les corps de composition fort différentes pouvaient, dans certaines conditions, cristalliser ensemble en proportions indéfinies. S'il est vrai que ses arguments n'étaient pas toujours

irréprochables, que trop souvent il arrangeait arbitrairement les formules ou les paramètres cristallographiques, il est certain, en tous cas, qu'il a été un des premiers, sinon le premier, à mettre en doute l'exactitude de la loi de Mitscherlich et à poser un problème qui, aujourd'hui encore, n'est pas près d'être résolu.

En parcourant la liste des travaux de Rammelsberg. que je reproduis ici, on demeure confondu par cette prodigieuse puissance de travail ; car, parmi ces titres, on trouvera non seulement un grand nombre de travaux de longue haleine, mais encore et surtout des ouvrages considérables, qui ont exigé d'immenses recherches bibliographiques. De ses ouvrages il en est deux qui resteront comme les plus beaux titres de Rammelsberg : son ***Handbuch der Mineralchemie*** (2e éd , 1875) et son ***Handbuch der krystallographisch-physikalischen Chemie***, dont la seconde édition, entièrement refondue, a paru en 1881. Ces deux livres, que Rammelsberg seul pouvait entreprendre et mener à bien, ont rendu et rendent encore d'incalculables services à tous ceux qui s'occupent de minéralogie ou de chimie. Sans doute tout n'y est pas parfait, sans doute aussi un nombre considérable de faits sont venus, pendant les vingt dernières années, s'ajouter aux faits anciens; mais, tels quels, ils constituent des documents précieux qu'on consulte tous les jours avec fruit.

La Société française de Minéralogie, dont Rammelsberg a été un des membres honoraires, gardera pieusement le souvenir du savant éminent qui a honoré la science par ses travaux, par sa modestie et son désintéressement.

Liste des travaux de Rammelsberg.

1836.

1. Ueber das Verhalten des Cyans zum Cadmium (*Pogg. Ann.*, **38**, p. 364-377).

1837.

2. Zusammensetzung des Berthierits von Bräunsdorf (*Pogg. Ann.*, **40**, p. 153).
3. Ueber Cyanmetalle, *Deutsch. Naturf.* (*Versamml. Bericht*, p. 121).
4. Ueber die einfachen und doppelten Cyanmetalle (*Pogg. Ann.*, **42**, p. 111-114).

1838.

5. Uber den Stilpnomelann (*Ibid.*, **43**, p. 127).
6. Natürliche neutrale schwefelsäure Thonerde und schwefelsäures Eisenoxyd (*Ibid.*, **43**, p. 130).
7. Uber die Substanzen, welche mit dem Namen Haarsalz und Federalaun bezeichnet werden (*Ibid.*, **43**, p. 399).
8. Neue basische schwefelsäure Thonerde (*Ibid.*, **43**, p. 583).
9. Ueber die Verbindungen des Jodzinks mit alcalischen Iodüren (*Ibid.*, **43**, p. 665-668).
10. Beiträge zur Kenntniss der jodsäuren und über- jodsäuren Salze (*Ibid.*, **44**, p. 545-591).

1839.

11. Zusammensetzung des Datoliths und des Botryoliths (*Ibid.*, **47**, p. 169).
12. Uber ein Fossil aus dem Basalt von Stolpen (*Ibid.*, **47**, p. 180).
13. Uber den Boulangerit (*Ibid.*, **47**, p. 493).
14. Uber die Identität des Thomsonits und Comptonits (*Ibid.*, **46**, p. 286). Vergl. 1853.
15. Bemerkungen über die crystallisirte Jodsäure (*Ibid.*, **46**, 159-160).
16. Ueber die Verbindungen der Jodmetalle mit Ammoniak (*Ibid.*, **48**, 151-184).

1839 und 1841.

7. Über die wahre Zusammensetzung des natürlichen und künstlichen oxalsäuren Eisenoxyduls oder des Humboldtits, verglichen mit der des künstlichen (*Ibid.*, **46**, p. 283; **53**, p. 633).

1840.

18. Chemische Zusammensetzung des Boracits, sowie diejenige der Verbindungen der Borsäure mit der Talkerde überhaupt [*Ibid.*, **49**, p. 445 (vergl. no. 285)].
19. Zusammensetzung der Afterkrystalle des Augits (*Ibid.*, **49**, p. 387).
20. Die Zusammensetzung des Batrachits (*Ibid.*, **51**, p. 446).
21. Zusammensetzung des Linarits (*Ibid.*, **50**, p. 157 u. 340).
22. Versuch, die chemische Zusammensetzung des Axinits zu bestimmen (*Ibid.*, **50**, p. 363).
23. Über Chabasit und Gmelinit (*Ibid.*, **49**, p. 211).
24. Ueber die Bromsäure und ihre Salze (*Berlin. Bericht*, p. 245-248).

1841.

25. Über die Sulfantimoniate und Sulfarseniate (*Ibid.*, **52**, p. 193; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 42).
26. Über das sogen. schlackige Magneteisen aus dem Basalt von Unkel (*Pogg. Ann.*, **53**, p. 129).
27. Über Kupfermanganerz, schwarzen Erdkobalt und Psilomelan als Glieder einer besonderen Gruppe von Mineralien (*Ibid.*, **54**, p. 545).
28. Zusammensetzung des Chondrodits (*Ibid.*, **53**, p. 130).
29. Ueber die Bromsäure Salze und die Verbindung der Brommetalle mit Ammoniak (*Berlin*, *Bericht*, p. 42-46).
30. Ueber die unterschwefligsauren Salze und über die unterschweflige Säure. *Deutsch. Naturf. Versamml* (*Bericht*, 1841, p. 171-173).

1841-1853.

31. Handwörterbuch des chemischen Theils der Mineralogie 1841; mit 5 Supplementen 1843-1853.

1842

32. Zersetzung des Schwefelbleis in der Hitze (*Pogg. Ann.*, **56**, p. 94).

33. Ueber die Brommetalle und ihre Verbindungen mit Ammoniak (*Pogg. Ann.*, **45**, p. 237, 252 et 455-467).
34. Ueber das Atomgewicht des Urans und die Zusammensetzung seiner Oxyde und Salze (*Ibid.*, **56**, 318-328; **56**, 125-134; **66**, p. 91-95, 1845).
35. Beiträge zur Kenntniss der unterschwefligsäurem Salze (*Pogg. Ann.*, **66**, p. 295).

1843.

36. Untersuchung des Uranpecherzes (*Ibid.*, **59**, p. 35).
37. Uber die Bestandtheile der Meteorsteine (*Ibid.*, **60**, p. 130).
38. Ueber Deville's Gazbehälter (*Ibid.*, **68**, p. 169).
39. Ueber einige Salze der unterschwefelsäure und ihre Verbindungen mit Ammoniak (*Ibid.*, **58**, 255-258).
40. Ueber die Uranoxydesalze, nebst Bemerkungen uber das Atomgewichte des Urans (*Ibid.*, **59**, p. 1).

1844.

41. Chemische Zusammensetzung des Eudialyts [*Ibid.*, **63**, p. 142 (vergl. auch No. 293).]
42. Beitrag zur Mineralchemie (Arsenikantimon, Baltimorit, Brochantit, Eisensinter, Hornblende, Kieselmangan, Leonhardit, Nephrit, Phakolith, Pharmakolith, Phonolith, Steinmark, Topas, Wad) (*Ibid.*, **62**, p. 137).
43. Chemische Untersuchung des am 16. Sept. 1843 in der Nähe des Dorfes Klein-Wenden im Kreise Nordhausen niedergefallenen Meteorsteines (*Ibid.*, **62**, p. 449; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 233).
44. Ueber das Verhalten der Kupferchlorids zum Schwefelquecksilber (*Ibid.*, **61**, 401).
45. Einige Bemerkungen über die Jodsäure (*Ibid.*, **62**, 416).
46. Ueber das Terpentinölhydrat (*Ibid.*, **63**, 570).

1844, 1845.

47. Analyse des Nephrits aus der Türkei (*N. Jahrb. f. Min.*, etc. 1844. p. 208; 1845, p. 328).

1845.

48. Uber den Nickelantimonglanz vom Harz (*Pogg. Ann.*, **64**, p. 157).
49. Analyse des Wads von Rübeland am Harz (*Ibid.*, **62**, p. 157).

50. Untersuchung einiger natürlicher und künstlicher Verbindungen der Phosphorsäure (Wagnerit, Lazulith und Blauspath, Vivianit). (*Ibid.*, **64**, p. 260; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 3).
51. Untersuchung einige natürlicher und kunstlicher Verbindungen der Phosphorsäure (*Berlin*, *Bericht*, p. 38).
52. Resultate der Untersuchungen über die Lithionsalze (*Ibid.*, 233).
53. Einige Bemerkungen über das Oxydulsulfuret des Zinks (*Pogg. Ann.*, **64**, p. 185).

1846.

54. Mineralanalysen [Akmit, Apatit, Apophyllit, Arseniosiderit, Boulangerit, Epidot, arsensäures Kupferoxyd, Manganocalcit, Nickelglanz, Polyhalit, Prehnit, Psilomelan, Pyrophyllit, Scheelit, Schwerspath, Thuringit, Weissgiltigerz, Wolfram, Zinnkies (*Pogg. Ann.*, **68**, p. 505)].
55. Ueber die Schwefligsäuren Saure (*Ibid.*, **67**, 245).
56. Ueber das chromsäure Chromoxyde (*Ibid.*, **68**, p. 274).
57. Ueber die Zersetzung des Oxalsauren Eisenoxyduls in höherer Temperatur (*Ibid.*, **68**, 276).
58. Ueber die Zusammensetzung einiger phosphorsäuren Salze (*Ibid.*, **68**, 383).

1847.

59. Zusammensetzung des Condurrits (*Ibid.*, **71**, p. 305).
60. J. J. Berzelius' neues chemisches Mineralsystem nebst einer Zusammenstellung seiner älteren hierauf bezüglichen Arbeiten. Nürnberg bei J. L. Schrag.
61. Versuch einer speciellen Ausführung des Mineralsystems nach Berzelius (*Pogg. Ann.*, **71**, p. 477).
62. Vergleichende Übersicht der natürlichen Silicate nach den Sauerstoffverhältnissen ihrer Bestandtheile (*Ibid.*, **72**, p. 95).
63. Chemische Untersuchung der Quellenabsätze des Alexisbades am Harz (*Ibid.*, **72**, p. 571).
64. Ueber die Vertheilung der unorganischen Stoffe in den einzelnen Theilen der Pflanzen (*Ibid.*, **71**, 151).

1848.

65. Zusammensetzung des Meteorsteins von Juvenas und sein Gehalt an Phosphorsäure und Titansäure (*Ibid.*, **73**, p. 585).
66. Chemische Zusammensetzung des Chioliths (*Ibid.*, **74**, p. 314).

67. Uber das Mangankupfererz von Friedrichsrode (*Ibid.*, **74**, p. 559).
68. Zur Kenntniss der Eisenhochofenschlacken (*Ibid.*, **74**, p. 95).
69. Zusammensetzung des Hisingerits (*Ibid.*, **75**, p. 398).
70. Chemische Zusammensetzung des Meteoreisens von Seeläsgen. (*Ibid.*, **74**, p. 443).
71. Ueber die Salze des Lithions (*Berlin*, *Bericht*, 385).
72. Ueber das Verhalten der Cyanüre und Doppelcyanüre in höheren Temperaturen (*Pogg. Ann.*, **73**, p. 80).
73. Ueber ein neues Kaliumkupfercyanür (*Ibid.*, **73**, p. 117).
74. Ueber Kupfereisencyanür und Kaliumkupfereisencyanür (*Ibid.*, **74**, p, 65).

1849.

75. Identität des Arkansits und Brookits in chemischer und krystallographischer Beziehung (*Ibid.*, **77**, p. 568).
76. Uber den Wismuthspath aus Süd-Carolina (*Ibid.*, **76**, p. 564).
77. Zusammensetzung des Schorlomits, eines neuen titanhaltigen Minerals (*Ibid.*, **77**, p. 123).
78. Bemerkungen über die chemische Zusammensetzung des Epidots und Orthits (*Ibid.*, **76**, p. 89).
79. Wahre Zusammensetzung des Chlorits (*Ibid.*, **77**, p. 414).
80. Beiträge zur Kenntniss von Mineralien des Harzes (Apophyllit, Epichlorit, Heteromorphit, Gänseköthigerz, Scheelit, Wolfram, Fahlerz, Bournonit, zwei Nickelerze, Arseniksilber, Wollastonit, Strontian-Schwerspath), zusammen mit C. Zincken (*Journ. f. prakt. Chemie*, **77**, p. 236).
81. Uber die mineralogischen Gemengtheile der Laven im Vergleich zu älteren Gebirgsarten und zu Meteorsteinen (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **1**, p. 253).
82. Die Grundmasse der Laven (*Ibid.*, **1**, p. 86).
83. Uber Delesse's Arbeiten über den Syenit der Vogesen und die Protogyne der savoyischen Alpen (*Ibid.*, **1**, p. 253).
84. Ueber die Verbindungen der Phosphorsäure mit dem Lithion (*Pogg. Ann.*, **76**, p. 261).
85. Bemerkungen über die Oxyde des Cobalts (**78**, p. 93).

1850.

86. Uber den Hyposklerit von Arendal (*Pogg. Ann.*, **79**, p. 305).
87. Zusammensetzung des Turmalins, verglichen mit derjenigen der Glimmer-und Feldspatharten ; und über die Ursache der

Isomorphie ungleichartiger Verbindungen (*Ibid.*, **80**, p. 449 und **81**, p. 1 [siehe auch **139**, p. 379]; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 273 [siehe auch 1869, p. 604]).

88. Analysen der Turmaline (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **2**, p. 241 [siehe auch no. 197 u. 300]).
89. Chemische Zusammensetzung des Kupferglimmers von Andreasberg (*Pogg. Ann.*, **79**, p. 465).
90. Untersuchung nordamerikanischer Mineralien (Nemalith, Orthit, schwarzes Kupferoxyd (*Ibid.*, **80**, p. 284).
91. Uber Delesse's Aufsätze den Wassergehalt der Feldspathgesteine betreffend (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **2**, p. 8 u. 24).
92. Notiz über die wahrscheinliche Nichtexistenz des Oxalsäuren Kali-Natrons (*Pogg. Ann.*, **79**, 512).

1851.

93. Zusammensetzung des Augits und der Hornblende von Härtlingen nebst allgemeinen Bemerkungen über beide Mineralien (*Pogg. Ann.*, **83**, p. 458).
94. Uber die Zusammensetzung des Epidots (*Ibid.*, **84**, p. 153).
95. Zusammensetzung des Meteorsteins von Stannern (*Ibid.*, **83**, p. 591).
96. Uber das Meteoreisen von Schwetz an der Weichsel (*Ibid.*, **84**, p. 153).
97. Uber das chemische Verhalten des Meteoreisens von Schwetz und Stannern (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **3**, p. 219, 331).
98. Uber E. de Beaumont's Aufsatz über die vulcanischen und metallischen Ausströmungen (*Ibid.*, **3**, p. 10).

1852.

99. Uber das Bleihornerz und den Matlockit, ein neues Bleierz aus Derbyshire (*Pogg. Ann.*, **85**, p. 141).
100. Uber den Fowlerit von Franklin (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **4**, p. 10).
101. Uber den Petalit und Spodumen (*Pogg. Ann.*, **85**, p. 544).
102. Krystallographische und chemische Verhältnisse des Humits (Chondrodits) und Olivins (*Ibid.*, **86**, p. 104; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 345).
103. Uber den Triphylin von Bodenmais (*Pogg. Ann.*, **85**, p. 439).
104. Identität des Mesoliths von Hauenstein mit Thomsonit (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 288).
105. Uber den Childrenit (*Pogg. Ann.*, **85**, p. 435).

106. Mineralanalysen (Apatit, Augit, Arseniknickel, Dolerit, Granat, Kieselkupfer, Schorlomit) (*Ibid.*, **85**, p. 285).
107. Lehrbuch der Krystallkunde.
108. Doppelsalz aus chromsäuren Kali und Quecksilbercyanid (*Ibid.*, **85**, 145).
109. Zur Kenntniss des Nitroprussodnatriums (*Ibid.*, **87**, 107).

1853.

110. Selenquecksilber vom Harz (*Pogg. Ann.*, **88**, p. 319).
111. Chemische Zusammensetzung des Zinnkieses (*Ibid.*, **88**, p. 603).
112. Uber den Chiviatit, ein neues Mineral aus Peru (*Ibid.*, **88**, p. 520).
113. Zusammensetzung des nordamerikanischen Spodumens (*Ibid.*, **89**, p. 114).
114. Uber die Identität des Mesoliths von Hauenstein mit dem Thomsonit (Comptonit), [*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 288 (vergl. 1839)].
115. Bericht über Herrn St. Claire Deville's Arbeiten, die Vulcane der canarischen und capverdischen Inseln und der Antillen betreffend (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **5**, p. 678).
116. Chemische-krystallographische Untersuchungen (*Pogg. Ann.*, **90**, 12).

1854.

117. Uber das Verhältniss, in welchem isomorphe Körper zusammen krystallisiren, und den Einfluss desselben auf de Form der Krystalle (*Pogg. Ann.*, **91**, p. 321).
118. Zusammensetzung des Helvins (*Ibid.*, **93**, p. 453).
119. Uber den Mimetesit (Kampylit) von Caldbeck Fell, Cumberland. (*Ibid.*, **91**, p. 316).
120. Krystallochemische Monographe der Oxalsäure und ihrer Salze (*Ibid.*, **93**, 24).

1855.

121. Zur Krystallform des Mejonits (*Ibid.*, **94**, p. 434).
122. Chemische Zusammensetzung des Vesuvians [*Ibid.*, **94**, p. 92; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 593 (vergl. auch No. 294 und 305)].
123. St. Claire Deville. Uber die Eruption des Vesuvs am 1 Mai 1855 (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **7**, p. 511).
124. Ueber die Zusammensetzung einiger Salze (*Pogg. Ann.*, **94**, p. 507).
125. Ueber die Form und Zusammensetzung des borsäuren Kalis und Ammoniaks (*Ibid.*, **95**, 199).

126. Ueber die Form und die Zusammensetzung des weinsteinsäuren Kalis und Ammoniaks (*Ibid.*, **96**, p. 18).
127. Beiträge zur näheren Kenntniss der Form der rechts und links weinsteinsauren, Doppelsalze und der Traubensäure (*Ibid.*, **96**, p. 50).
128. Notez über Krystallform des Aldehyd-Ammoniaks (*Ibid.*, **96**, 625).

1855-1857.

129. Handbuch der krystallographischen Chemie. Leipzig 1855. (Supplement dazu 1857).

1856.

130. Uber den Völknerit von Snarum (*Pogg. Ann.*, **97**, p. 296).
131. Uber den Boronatrocalcit aus Südamerika (*Ibid.*, **97**, p. 301).
132. Zusammensetzung des Leucits und seiner Zersetzungsproducte (*Ibid.*, **98**, p. 142; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 148).
133. Bemerkungen über die gleiche Zusammensetzung des Leukophans und Melinophans, sowie über einige neue Verbindungen aus dem Salzlager von Stassfurt (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 202).
134. Ueber die Identität des Leukophans und Melinophans [*Pogg. Ann.*, **98**, p. 257 (vergl. 1876. No. 257)].
135. Ueber den sogen. Steatit (*Ibid.*, **97**, p. 300).
136. Krystallform und Zusammensetzung des Vanadinbleierzes (*Ibid.*, **98**, p. 249; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 153).
137. Krystallform des Vanadinbleierzes von Windisch-Koppel (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **8**, p. 154).
138. Ueber den Tachydrit, ein neues Mineral aus dem Steinsalzlager von Stassfurt (*Pogg. Ann.*, **98**, p. 261; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 202).
139. Mineralien von Stassfurt (*Zeitschr. deutsch. geol. Ges.*, **8**, p. 379).
140. Ueber die Doppelsalze aus zweifachjodsäuren kali und Chlorkalium oder schwefelsauren kali (*Pogg. Ann.*, **97**, p. 92).
141. Forme Krystalline des Thialdine und einiger seiner Salze (*Ibid.*, **98**, p. 605).

1857.

142. Analyse des Stassfurter Steinsalzes (*Ibid.*, **9**, p. 158).
143. Ueber den Zoisit und seine Beziehung zum Epidot, sowie über

die Zusammensetzung des letzteren (*Pogg. Ann.*, **100**, p. 133; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 605).
144. Zusammensetzung des Beudantits (*Pogg. Ann.*, **100**, p. 581).
145. Die neuesten Forschungen im Gebiete der krystallographischen Chemie (*Supplement zum Handbuch der krystallogr. Chemie*, 1855). Leipzig, 1857.
146. Ueber das phosphorsäure Natron-Lithion (*Pagg. Ann.*, **102**, p. 441).

1858.

147. Ueber die Oxyde des Cers und die gelben und rothen Sulfate eines Oxydoxyduls (*Berlin. Monatsber.*, p. 359).
148. Ueber die Doppelsalze des chlorwismuths mit Chlorkalium und Chlorammonium (*Pogg. Ann.*, **106**, 145).
149. Ueber die Form und Zusammensetzung der Doppelcyanure von Kalium und Kupffer (*Ibid.*, **106**, **491**).
150. Ueber die chemische Natur des Titaneisens, des Eisenglanzes und des Magneteisens (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **10**, p. 294).
151. Uber die Zusammensetzung des Titaneisens, sowie die rhomboëdrisch und oktaëdrisch krystallisirten Eisenoxyde überhaupt (*Pogg. Ann.*, **104**, p. 497; *Monatsber. Berlin. Akad.*, 1858, p. 401).
152. Uber die krystallographischen und chemischen Beziehungen zwischen Augit und Hornblende, sowie von verwandten Mineralien (*Pogg. Ann.*, **103**, p. 273 u. 435; *Monatsber. Berlin. Akad.*, 1858, p. 133).
153. Uber die Zusammensetzung des Uralits und sein Verhältniss zur Hornblende (*Zeitschr. p. deutsch. geol. Ges.*, **10**, p. 230).
154. Uber die Zusammensetzung des Analcims (*Pogg. Ann.*, **105**, p. 317).
155. Uber die Silicate als Gemengtheile krystallinischer Gesteine und insbesondere über Augit und Hornblende als Glieder einer grossen Mineralgruppe (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **10**, p. 17.)

1859.

156. Uber den sogen. oktaëdrischen Eisenglanz vom Vesuv und über die Bildung von Magneteisen durch Sublimation (*Pogg. Ann.*, **107**, p. 451).

157. Uber den Magnoferrit vom Vesuv und die Bildung des Magneteisens und ähnlicher Verbindungen durch Sublimation (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 362).
158. Uber die wahre Zusammensetzung des Franklinits und die Isomorphie der Mon-und Sesquioxyde (*Pogg. Ann.*, **107**, p. 312).
159. Uber Hydromagnocalcite (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **11**, p. 145).
160. Uber den Yttrotitanit (*Pogg. Ann.*, **106**, p. 296).
161. Uber die Zusammensetzung des Cerits (*Ibid.*, **107**, p. 631).
162. Uber den Gabbro von der Baste (Radauthal im Harz) (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **11**, p. 101).
163. Trachyt vom Drachenfels (*Ibid.*, **11**, p. 434).
164. Uber den Bianchetto der Solfatara von Pozzuoli (*Ibid.*, **11**, p. 446).
165. Die mineralogische Zusammensetzung der Vesuvlaven und das Vorkommen von Nephelin in denselben [*Ibid.*, **11**, p. 493 (vergl. auch **12**, 1860, p. 362)].
166. Uber die Natur der gegenwärtigen Eruptionen des Vulcans von Stromboli (nach C. St. Claire Deville). (*Ibid.*, **11**, p. 103.)

1860.

167. Uber Isomorphie und Heteromorphie bei den Singulosilicaten von Mon- und Sesquioxyden (*Pogg. Ann.*, **109**, p. 584).
168. Zusammensetzung des Hauyns und der Lava von Melfi am Vulture (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **12**, p. 273).
169. Chemische Zusammensetzung einiger seltener Mineralien des Vesuvs (Chrysolith, Monticellit, Sarkolith, Sodalith, Hauyn, Davyn) (*Pogg. Ann.*, **109**, p. 567).
170. Uber die Zusammensetzung des Stilbits (*Ibid.*, **110**, p. 525).
171. Uber die Zusammensetzung des Harmotoms und Phillipsits (*Ibid.*, **110**, p. 622).
172. Mineralogische Natur der neueren Vesuvlaven (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **12**, p. 362).
173. Ueber die krystallform der salpetersäuren Doppelsalze von Ceroxyd mit Ceroxydul, Lanthan, Didymoxyd und Magnesia (*Pagg. Ann.*, **198**, 435).
174. Ueber salpetersaures Quecksilberoxydul-Ammoniak (*Ibid.*, **109**, 377).

Ueber die Krystallform des Methyl-Strychninhydrats (*Ibid.*, **109**, 378).

1860-1861.

175. Uber das Verhalten der aus Kieselsäure bestehenden Mineralien gegen Kalilauge (*Pogg. Ann.*, **112**, p. 177; *Monatsber. Berlin. Akad.*, 1860, p. 758).

1861.

176. Uber die Isomorphie der Sulfate von Kadmium, Didym und Yttrium (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 891).
177. Die Pseudomorphosen in Leucitform (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **12**, p. 96).
178. Uber die Zusammensetzung des Stauroliths [*Pogg. Ann.*, **113**, p. 599; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 368 (siehe 1875)].
179. Uber einige nordamerikanische Meteoriten (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 895).
180. Ueber die Verbindung des iodsäuren Natrons mit dem Chlornatrium (*Berlin. Monatsber.*, 893).
181. Vergleichende Bemerkungen über die Krystallform organischer Verbindungen vom Typus des Ammoniaks (*Pogg. Ann.*, **114**, p. 393).

1862.

182. Beiträge zur chemischen Kenntniss mehrerer Mineralkörper (Kobellit, Kobaltnickelkies, Vivianit, Diopsid und Tremolith von Gulsjö, Skolopsid und Augit vom Kaiserstuhl (*Ibid.*, p. 237).
183. Glimmer von Gouverneur, Natron- und Barytglimmer (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **14**, p. 758).
184. Analysen einiger Phonolithe aus Böhmen und der Rhön (*Ibid.*, **14**, p. 750).
185. Der letzte Ausbruch des Vesuvs vom 8. December 1861 (*Ibid.*, **14**, p. 567).
186. Erinnerung an Zincken (*Ibid.*, **14**, p. 251).
187. Über die Schwefelungsstufen des Eisens und das Schwefeleisen der Meteoriten [*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 681; *Fortsetzung ibid.*, 1864, p. 22 (siehe 1864 u. 1866)].
188. Ueber iodsaures Nation-Bromnatrium (*Berlin. Monatsber.*, p. 137).
189. Ueber den angeblichen stickstoffgehalt des Roheisens (*Ibid.*, p. 692).
190. Ueber das iodsäure Natron-chlornatrium (*Pogg. Ann.*, **115**, p. 584).

1863.

191. Uber krystallisirte Zinnküttenproducte von Schlackenwalde und krystallisirte Lagerungen im Allgemeinen (*Pogg. Ann.*, **120**, p. 54).
192. Uber die chemische Natur des Roheisens und die Heteromorphie der Metall in ihren isomorphen Mischungen (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 188).
193. Leitfaden für qualitative chemische Analyse, besonders der Mineral und Hüttenproducte. 2 Aufl.
194. Ueber die Krystallform des Zweifach chromsäuren ammoniaks (*Pogg. Ann.*, **118**, p. 158).
195. Bemerkungen zur kenntniss der salpetrigsäuren Salze (*Ibid.*, **118**, p. 282).
196. Ueber die Trennung von Zinnsäure und Wolfrämsäure (*Ibid.*, **120**, p. 66).

1864

197. Uber die im Mineralreiche vorkommenden Schwefelverbindungen des Eisens (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **16**, p. 267).
198. Uber das Antimonsilber (*Ibid.*, **16**, p. 618).
199. Uber die Schwefelungsstufen des Eisens, die Zusammensetzung des Magnetitkieses und das Vorkommen des Eisensulfurets im Meteoreisen (*Pogg. Ann.*, **121**, p. 337; *Monatsber. Berlin. Akad.*, 1862, 1864).
200. Specifisches Gewicht der Verbindungen des Schwefels mit dem Eisen (*Pogg. Ann.*, **121**, p. 369; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 369).
201. Uber das Schwefeleisen des Meteoriten. [*Pogg. Ann.*, **121**. p. 365; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 365 (siehe auch 1862 u. 1866)].
202. Pyrit und Markasit (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **16**, p. 355
203. Uber Braunit (*Ibid.*, **16**, p. 186).
204. Uber einige Glieder Sodalithgruppe, insbesonders Ittnerit und Skolopsid (*Monastber. Berlin. Akad.*, p. 168).
205. Uber die natürlichen Verbindungen von Bleioxyd und Vanadinsäure (*Ibid.*, p. 33).
206. Uber die Zusammensetzung des Ferberits (*Ibid.*, p. 175).
207. Uber Pistazit und Eisenglanz am Harz (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **16**, p. 6).
208. Ueber die Krystallform des Brombaryum (*Pogg. Ann.*, **120**. p. 610).

209. Ueber ein neues Natronphosphat und das Vorkommen von Vanadinverbindungen in Sodalaugen (*Berlin. Monatsber. Akad.*, p. 680).

1864, 1865.

210. Uber geschmolzene Mineralien (*Zeitsch. d. d. Geol.*, **16**, p. 178; **17**, p. 266).

1865.

211. Uber Pseudodimorphie (*Ibid.*, **17**, p. 258).
212. Uber die Krystallform der Lithionsalze und deren Isomorphie. mit Natronsalzen (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 629).
213. Uber die Zusammensetzung der Manganerze und das specifische Gewicht derselben und der Manganoxyde überhaupt (*Pogg. Ann.*, **124**, p. 513; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 112).
214. Uber Feldspathe (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **17**, p. 441).
215. Uber die Zusammensetzung von Oligoklas und Labrador, etc. (*Pogg. Ann.*, **126**, p. 39).
216. Uber die Zusammensetzung und die Constitution der Topase (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 264).
217. Uber Topas (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **17**, p. 560).
218. Uber den Kainit und Kieserit von Stassfurt [*Ibid.*, **17**, p. 649 (auch **18**, p. 11)].
219. Uber Stassfurtit. Carnallit und über Polysymmetrie (*Ibid.*, **17**, p. 11).
220. A. Scacchi, Uber Polysymmetrie der Krystalle (Ubersetzung). (*Ibid.*, **17**, p. 35.)
221. Bemerkungen zu Scacchi's Abhandlung über die Polysymmetrie und zu der von Des Cloizeaux über die Pseudodimorphie (*Ibid.*, **17**, p. 56 u. 258).
222. Uber den Ausbruch des Aetna vom 31. Januar 1865 (*Ibid.*, **17**, p. 606).
223. Ueber das iodsäure Natron-Jodnatrium (*Pogg. Ann.*, **125**, p. 147).
224. Ueber die niederen Oxydationsstufen des Mobybdäns (*Berlin. Monatsber. Akad.*, p. 626).

1866.

225. Uber die isomorphen Mischungen aus überchlorsäurem und übermangansäurem Kali und die angebliche polymere Isomorphie (*Pogg. Ann.*, **128**, p. 169).

226. Uber die Isomorphie der Lithionsalze mit den Kali-und Natr -salzen (*Ibid.*, **128**, p. 311).
227. Uber die Bestimmung des Schwefeleisens in Meteor -- [*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **18**, p. 691 (siehe 1- u. 1864)].
228. Uber das Buntkupfererz von Ramos in Mexico und die Con-tution dieses Minerals überhaupt (*Ibid.*, **18**, p. 19).
229. Uber den Castillit, ein neues Mineral aus Mexico (*Ibid.*, **18** p. 23).
230. Uber die mit dem Namen Speise bezeichneten Hüttenprodu (*Pogg. Ann.*, **128**, p. 441).
231. Uber den Enargit aus Mexico und einen neuen Fundort - Berthierits (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **18**, p. 241).
232. Uber die chemische Natur der Feldspathe, mit Rücksicht auf neueren Vorstellungen in der Chemie (*Ibid.*, **18**, p. 200).
233. Uber den Xonaltit, ein neues wasserhaltiges Kalksilicat und Bustamit aus Mexico (*Ibid.*, **18**, p. 17 u. 33).
234. Uber Kainit (*Ibid.*, **18**, p. 11).
235. Uber den Glimmer von Utö und Easton und Bemerkungen ü die Zusammensetzung der Glimmer überhaupt (*Ibid.*, **18** p. 807).
236. Uber Cottait, Karlsbader Zwillinge, Brushit, Metabrushit, Z-git, Ornithit, Eozoon canadense (*Ibid.*, **18**, p. 393.)
237. Ueber die Verbindungen von phosphorsäurem Natron m Fluornatrium (*Pogg. Ann.*, **127**, p. 158).
238. Ueber die niederen Oxyde des Molybdäns (*Pogg. Ann.*, **127** p. 293).
239. Ueber die Zusammensetzung der Molybdänsäuren Salze d Alkalien (*Pogg. Ann.*, **127**, p. 293).
240. Ueber die krystallisirte Chromsäure (*Ibid.*, 127, p 492).
241. Ueber die isemorphen Mischungen aus überchlorsäurem u über mangansäurem kali und die angebliche polymere I-morphie (*Ibid.*, **128**, p. 169).
242. Ueber das Krystallisirte Schwefelnatrium (*Ibid.*, **128**, p. 172
243. Ueber die phosphorige Säure und deren Salze (*Berlin. Mo-ber. Akad.*, p. 537).

1867.

244. Uber die chemische Constitution der Glimmer (*Ibid.*, **19** p. 400).
245. Zusammensetzung des Franklinits (*Pogg. Ann.*, **130**, p. 146).

246. Über die Constitution der thonerdehaltigen Augite und Hornblenden (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **19**, p. 496).
247. Bemerkungen über den Scheelit vom Riesengebirge (*Ibid.*, **19**, p. 493),
248. Ueber die phosphorigsäuren Salze (*Pogg. Ann.*, **131**, p. 263).
249. Ueber die Zusammensetzung der überjodsäuren Salze (*Berlin. Monatsber. Akad.*, p. 691).

1868.

250. Über die Constitution der Silicate (*Ber. deutsch. chem. Ges.*, **1**).
251. Über die chemische Constitution des Prehnits (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **20**, p. 79).
252. Über die chemische Constitution von Talk, Serpentin und Chlorit (*Ibid.*, **20**, p. 82).
253. Über die Constitution des Apophyllits und Okenits (*Ibid.*, **20**, p. 441).
254. Über die Constitution des Dioptases (*Ibid.*, **20**, p. 536).
255. Betrachtungen über die Krystallform des Harmotoms (*Ibid.*, **20**, p. 589).
256. Neues Mineral aus Mexico (*Ibid.*, **20**, p. 744).
257. Analyse der Laven des Puy de Pariou (*Ibid.*, **20**, p. 393).
258. Über den Phonolith vom Mont-Dore (*Ibid.*, **20**, p. 258).
259. Über den Schwefelsäuregehalt einiger Phonolithe (*Ibid.*, **20**, p. 542).
260. Über das Verhalten des Pechsteins und des geschmolzenen Feldspaths zu Kalilauge (*Ibid.*, **20**, p. 539).
261. Krystallisirter Sandstein von Heidelberg (*Ibid.*, **20**, p. 213).
262. Ueber die Zusammensetzung der überjodsäuren Salzen (*Pogg. Ann.*, **134**, p. 368).
263. Krystallform und optisches verhalten des halb-überiodsäuren Kalis $K^4J^2O^9 + 9Aq$ (*Pogg. Ann.*, **134**, p. 536).
264. Ueber die volumetrische Jodbestimmung der Iodsäure und Ueberiodsäure und ihrer Salze (*Pogg. Ann.*, **135**, p. 493).

1869.

265. Über zwei Meteoreisen aus Mexico (Misteca alta und Yanhuitlan) (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.* **21**, p. 83).
266. Beziehungen zwischen Circularpolarisation, Krystallform und Molecularconstitution (*Ber. deutsch. chem. Ges.*, **2**).
267. Über Tellurwismuthsilber aus Mexico (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **21**, p. 81).

268. Uber die chemische Constitution der Silicate (*Ibid.*, **22**, p. 1··
269. Beitrage zur Kenntniss der Constitution mehrerer Silicate Ch - basit, Stilbit (Heulandit), Desmin, Natrolith, Skolezit, Serpen - tin und Thon)]. (*Ibid.*, **21**, p. 84).
270. Uber die Zusammensetzung und die Constitution des Axinits. (*Ibid.*, **21**, p. 689).
271. Uber die Isomorphie von Gadolinit, Datolith und Euklas (*Ibid.*, **21**, p. 807).
272. Uber die chemische Zusammensetzung des Turmalins (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 604 (siehe auch 1850, p. 273) ; *Pogg. Ann.* **139**, p. 379 (siehe auch **80**. 1850). p. 449 u. **81**, p. 1] ; [*Ber. deutsch. chem. Ges*).
273. Die Verbindungen des Tantals und Niobs (*Pogg. Ann.*, **136**. p. 177 u. 352).
274. Uber die Constitution einiger natürlicher Tantal-und Niobverbindungen (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **21**, p. 555, u. **23**. p. 658 (siehe auch 1870-1877).
275. Ueberiodsäure Salze und ihre Zersetzung durch Ghühhitze (*Zeitsch. f. Chemie*, **4**, p. 434).
276. Ueber das Verhalten der überiodsäuren Salze in höherer Temperatur (*Deutsch. ch. ges. Ber.*, **1**, p. 131).
277. Ueber Vanadinverbindungen (*Ibid.*, p. 158).
278. Ueber der Siliciumgehalt des Aluminiums (*Ibid.*, p. 222).
279. Ueber das Verhalten der jodsäuren und uberjodsäuren Salze in der Hitze, und die Bildung der Letzteren aus Iodüren durch Superoxyde (*Pogg. Ann.*, **137**, p. 305).

1870.

280. Uber die natürlichen Tantal und Niobverbindungen (Fergusonit, Tyrit, Bragit). (*Ber. d. deutsch. chem. Ges.*, **3**, p. ··· [siehe auch 1869].)
281. Dimorphie des Zinn (*Ibid.*, **3**).
282. Uber Yttrocerit (*Ibid.*, **3.**)
283. Uber Lüneburgit aus dem Gypsmergel bei Lüneburg (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **22**, p. 467).
284. Uber den Feldspath von Näro-Thal in Norwegen (*Pogg. Ann.*, **139**, p. 178).
285. Untersuchungen über den Astrophyllit von Brevig (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **22**, p. 766).
286. Uber die Zusammensetzung des Lievrits (*Ibid.*, **22**, p. 897, u. **23**. p. 271).

287. Über die Zusammensetzung des Turmalins 2. (Abhandlung) (siehe auch 1850, 1869 u. 1890). (*Pogg. Ann.*, **139**, p. 379).
288. Über kupferhaltigen Phosphorit von Estremadura (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **22**, p. 467).
289. Über den Anorthitfels von der Baste (*Ibid.*, **22**, p. 899).
290. Über den Olivinfels vom Dreiser Weiher (*Pogg. Ann.*, **141**, p. 512).
291. Über das Schwefeleisen des Meteoresiens [*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **22**, p. 893 (siehe auch 1866)].
292. Beiträge zur Kenntniss der Meteoriten. Über die Analyse der Meteoriten (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 440).
293. Vorkommen der Augitsubstanz in den Meteoriten (*Pogg. Ann.*, **140**, p. 311).
294. Über den Meteorstein von Chantonnay (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **22**, p. 889).
295. Über die Zusammensetzung der Meteoriten von Shalka und von Hainhoz (*Pogg. Ann.*, **141**, p. 275; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 314).
296. Beziehungen der Meteoriten zu den irdischen Gesteinen (*Pogg. Ann.*, **141**, p. 503).
297. Über DAUBRÉE's künstliche Darstellung von Meteoriten und seine Vergleiche und Schlussfolgerungen (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **32**, p. 769).
298. Ueber die Stellung des Thalliums in der Reihe der Elemente (*Berlin. Monatsber. Akad.*, p. 237).
299. Ueber die phosphate des Thalliums und ihre Isomorphie mit anderen (*Deutsch. chem. ges. Ber.*, **3**, p. 276).

1870. 1879.

300. Die chemische Natur der Meteoriten (*Abh. d. Berlin. Akad*).

1871.

301. Über den Meteorstein von Mezo-Madaras (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **23**, p. 734).
302. Über die grossen Eisenmassen von Gronland ([*Ibid.*, **23**, p. 738 (vergl. auch No. 200)].
303. Über Meteorsteine, Lievrit und Anorthitfels (*Ibid.*, **23**, p. 271).
304. Über tantal und niobhaltige Mineralien (*Ibid.*, **23**, p. 658).
305. Über die Zusammensetzung der natürlichen Tantal und Niobverbindungen, zunächst des Tantalits, Columbits und Pyrochlors (*Monatsber. Berlin. Akad.*, April. (Siehe auch 1869-1877).

306. Uber die natürlichen Tantal-und Niobverbindungen [siehe auch 1869]
2. Abh. (Yttrotantalit, Fergusonit (Tyrit, Bragit), Polykras und Euxenit). [*Ibid.*, p. 406 siehe *Ibid.*, 1872, p. 578.]
3. Abh. (Pyrochlor, Wohlerit, Samarskit, Aeschynit, Form und Zusammensetzung der Tantal-und Niobmineralien und ihre Isomorphie mit anderen). (*Ibid.*, p. 584.)
307. Uber Pyrochlor (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **23**, p. 663).

1872.

308. Uber die Zusammensetzung des schwarzen Yttrotantalits [*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 578 (siehe *ibid.*, 1871)].
309. Form und Zusammensetzung bei natürlichen Tantal-und Niobverbindungen (*Ber. d. deutsch. chem. Ges.*).
310. Uber die Zusammensetzung des Orthits (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **24**, p. 60).
311. Uber den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse von der chemischen Natur der Kalknatronfeldspäthe (*Ibid.*, **24**, p. 138).
312. Uber die Zusammensetzung des Epidots und des Zoisits (*Ibid.*, **24**, p. 649).
313. Uber die Zusammensetzung des Epidots vom Sulzbach-Thal (*Ibid.*, **24**, p. 69).
314. Uber den Staurolith und seine Beziehungen zum Andalusit und Topas [*Ibid.*, **14**, p. 87 (vergl. 1873, no 246)].
315. Zusammensetzung des Chabasits (*Pogg. Ann.*, **142**, p. 476).
316. Uber die chemische Natur des Amblygonits. [*Monatsber. Berlin Akad.*, p. 153 [siehe 1873, no. 248 u. 281].
317. Uber die chemische Natur der Vesuvasche des Ausbruchs von 1872 [*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **24**, p. 549 (vergl. auch **25**, p. 113)].
318. Meteoriten und ihre Beziehungen zur Erde.
319. Uber die Nordenskiöld'sche Nordseeexpedition (*Zeitschr. deutsch. geol. Ges.*, **24**, p. 175).
320. Ueber einige Doppelsalze des essigsäuren Urans (*Pogg. Ann.*, **145**, p. 158).
321. Zur Kentniss der Thalliumverbindungen (*Ibid.*, **146**, p. 153).
322. Ueber die unterphosphorigsäuren Salze (*Berlin. Monatsb. Akad.*, p. 409 et 571).
323. Ueber das verhalten der Bleikammerkrystalles gegen Wasser (*Deutsch. Ch. Ges. Ber.*, **5**, p. 310 et 378).

324. Ueber die Zusammensetzung zweier krystallisirter Roheisen (*Ibid.*, p. 430).
325. Ueber das Atomgewicht des Urans (*Ibid.*, 1003).
326. Bemerkungen über Kieselsäure (*Ibid.*, 1006).

1872, 1873.

327. Zusammensetzung der natürlichen Tantal-und Niobverbindungen [*Pogg. Ann.*, **144**, p. 56, u. 191; **150**, p. 198 (siehe 1869-1872)].

1873.

328. Uber Graphit (*Ber. d. deutsch. chem. Ges.*, **6**).
329. Uber die gegenseitigen Beziehungen und die chemische Natur der Arsen-und Schwefelarsenmetalle im Mineralreich (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **25**, p. 266).
330. Untersuchungen einiger natürlichen Arsen-und Schwefelverbindungen (*Ibid.*, **25**, p. 282).
331. Uber den Mineralreichthum Sardiniens (*Ibid.*, **25**, p. 116).
332. Uber Vesuvlaven (*Ibid.*, **25**, p. 113).
333. Uber die Zusammensetzung des Manganepidots (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 437).
334. Uber die Zusammensetzung des Vesuvians (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **25**, p. 421; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 418).
335. Uber die Zusammensetzung der Stauroliths [*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **25**, p. 53 (vergl. auch **24**, 1872, p. 87); *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 155 (vergl. 1861).]
336. Uber Herschelit une Seebachit (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **25**, p. 96).
337. Uber den Amblygonit [*Ibid.*, **25**, p. 59 (siehe no 234 u. 281).]
338. Zur Erinnerung an Gustave Rose (*Ibid.*, **25**, p. 1).
339. Ueber das atomgewicht der Cermetalle und die Salze des Ceroxydoxyduls (*Deutsch. ch. Ges. Ber.*, **6**, p. 84).
340. Ueber selbstentzündliches Phosphorwasserstoffgas aus Iodphosphonium (*Ibid.*, p. 88).
341. Ueber den Graphit (*Ibid.*, p. 187).
342. Ueber das Verhalten des Ozons zum Wasser (*Ibid.*, p. 603).

1873, 1878, 1879.

343. Uber die Zusammensetzung des Lithionglimmers (*Monatsber. Berlin. Akad.* (vergl. auch no. 266 u. 268)].

1874.

344. Fortschritte der Mineralchemie, wie sie seit 50 Jahren aus *Poggendorff's Annalen* sich ergeben (*Pogg. Ann.*, Jubelband p. 381).
345. Krystallographische und chemische Beziehungen natürlicher S-, As- etc. Verbindungen (*Ber. d. deutsch. chem. Ges.*, **7**).
346. Ueber die Krystallform und die Molekulen verhältnisse des Selens (*Berlin. Akad. Monatsb.*, p. 188).
347. Ueber Baryt und Baryumsuperoxyd (*Berlin. Ch. Ges. Ber.*, **7**, p. 542).
348. Ueber die Krystallform und die Molekularen Modificationem des Selens (*Ibid.*, **7**, p. 669).
349. Beiträge zur Kenntniss des Titans (*Berlin. Akad. Monatsb.*, p. 490).

1875.

350. Uber die Identität von Batrachit und Monticellit (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **27**, p. 470).
351. Das verhalten des übermangansäuren Kalis beim gluhen (*Ibid.*, **8**, p. 232).
352. Beiträge zur Kenntniss des Tellurs (*Berlin. Akad. Monatsb.*, p. 379).

1875-1895.

353. Handbuch der Mineralchemie 1875, mit 2 Supplementen 1886 und 1895 (Neue Auflage des Handwörterbuchs des chemischen Theils der Mineralogie).

1876.

354. Uber den Silberwismuthglanz aus Peru (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 700; *Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*).
355. Uber die Zusammensetzung des Nephelins (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 695).
356. Uber die Zusammensetzung des Leucophans und des Melinophans [*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **28**, p. 57; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 22 (vergl. 1856. no. 90 u. 91).]
357. Uber Aerinit und Ginilsit (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **28**. p. 234).
358. Ueber die Zusammensetzung der phosphorigsäuren Salze. (*Berlin. Akad. Monatsb.*, p. 537).
359. Ueber die Atomgewicht der Cer und Yttrium metalle (*Berlin. Ch. Ges. Ber.*, **9**, p. 1580).

1877.

360. Uber die Zusammensetzung des Speiskobalts und verwandte- Mineralien (*Pogg. Ann.*, **160**, p. 131).
361. Uber Nephelin, Monazit und Silberwismuthglanz (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **29**, p. 77).
362. Uber den Kalkeisengranat von Syssersk (*Ibid.*, **29**, p. 815).
363. Uber die Zusammensetzung des Aeschynits und Samarskits (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 656; *Viedenn. Ann.*, **2**, p. 658; *Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **29**, p. 875 (siehe auch 1869)].
364. Ueber das Atomgewicht des Molybdäns und uber die phosphormolybdänsäuren Salze (*Berlin. Akad. Monatsb.*, p. 573).
365. Ueber die Bestimmung des Kupferoxyduls im Kupfer (*Berlin. Ch. Ges. Berlin*, **10**, p. 1780).

1878.

366. d'Achiardi, Uber den Ursprung der Borsäure und der Borate (im Auszug übersetzt). (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **30**, p. 140.)
367. Uber die Zusammensetzung des Petalits und Pollucits von Elba [*Monastber. Berlin. Akad.*, p. 9 (siehe no. 274; *ibid.*, 1880, p. 669).]
368. Uber die chemische Zusammensetzung des Kjerulfins und der Lithionglimmer [*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **30**, p. 681 (vergl. no. 268 u. 270)].
369. Ueber die Bestimmung des Lithions durch phosphorsäures Natron (*Berlin. Akad. Monatsb.*, p. 613).

1878-1879.

370. Uber die Zusammensetzung der Lithionglimmer [*Monastber. Berlin. Akad.*, 1878, p. 616; 1879, p. 248 (vergl. no. 250 u. 268)].

1879.

371. Uber die chemische Zusammensetzung der Glimmer (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **31**, p. 676 u. 798; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 833).
372. Uber die Zuzammensetzung der Lithionglimmer [*Wiedem. Ann.*, **7**, p. 136 (vergl. auch. no. 266)].
373. Uber das Verhalten fluorhaltiger Silicate, besonders der Topase und Glimmer, in höheren Temperaturen (*Wiedem. Ann.*, **7**, p. 146; *Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 253).

374. Uber die Zusammensetzung des Kjerulfins [*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **31**, p. 107 (vergl. **30**, p. 681)].
375. Nephelin, Monazit und Silberwismuthglanz (*Zeitschr. f. Kryst.* **3**, p. 101).
376. Uber die Fortschritte in der Kenntniss der chemischen Natur der Meteoriten (*Monatsber. Berlin. Akad.*, mai).
377. Ueber Molekulare Erscheinungen am Zinn und Zink (*Ibid.*, p. 225).

1880.

378. Uber moleculare Erscheinungen am Zinn und Zink (*Ibid.*, p. 225).
379. Uber die Zusammensetzung des Pollucits von Elba [*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 669 (siehe *ibid.*, 1878, p. 9)].
380. Chemische Monographie der Glimmergruppe (*Wiedem. Ann.*, **9**, p. 113 u. 302).
381. Uber die Vanadinerze aus dem Staate Córdoba in Argentinien (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **32**, p. 708 u. 818).
382. Uber die Zusammensetzung des Descloizits und der natürlichen Vanadinverbindungen überhaupt (*Monatsber. Berlin. Akad.*, p. 652).
383. Ueber einige neue Producte der Sodafabrication (*Ibid.*, p. 777).
384. Ueber die Reduction der Vanadinsäure auf nassen Wege (*Ibid.*, p. 787).

1881.

385. Experimentelle grundlagen zur Theorie der Amalgamation (*Ibid.*, p. 79).
386. Ueber Form und Zusammensetzung der Strychninsulfate (*Berlin. Ch. Ges. Bericht.*, **14**, p. 1231).

1881-1882.

387. Handbuch der krystallographisch-physikalischen Chemie. 2 Bände. 1. Abtheilung : Unorganische Verbindungen 1881. 2. Abtheilung : Organische Verbindungen 1882.

1882.

388. Ueber die Phosphate des Thalliums und Lithiums (*Berlin. Akad. Sitz.*, p. 283).
389. Ueber Kaliumdithalliumchlorid (*Pogg. Ann.*, **16**, p. 709).

1883.

390. Elemente der Krystallographie für Chemiker. Berlin, 208 p.
391. Über das metallische Eisen aus Grönland [*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **35**, p. 695 u. 869 (vergl. auch. no. 220)].
392. Über die chemische Natur des Amblygonits [*N. Jahrb. f. Min*, etc., 1883, I, p. 15 (vergl. auch no. 234 u. 248)].
393. Sobre los vanadatos de las provincias de Córdoba y San Luis (zusammen mit Döring, Websky und Brackebusch) (*Bol. d. l. Acad nation.*, Buenos Aires, **5**).
394. Über den Cuprodescloizit, ein neues Vanadinerz aus Mexico (*Sitzungsber. Berlin. Akad.*, **2**, p. 1215).
395. Beiträge zur Kenntniss de vanadinsäuren und phosphorsäuren Salzen (*Berlin. Akad. Sitz.*, p. 3).
396. Ueber das Sesquicarbonat des Kalis (*Berlin. Ch. ges. Ber.*, **16**, p. 273).

1884.

395. Über isomorphe, chemisch nicht analoge Mineralien (*N. Jahrb. f. Min.*, etc., 1884, I, p. 67).
396. Über den Boronatrocalcit und die natürlichen Borate überhaupt [*N. Jahrb. f. Min.*, etc., 1884, II, p. 158 (vergl. no. 11)].
397. Über die Gruppen des Chabasits, Phillipsits Skapoliths (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **36**, p. 220 u. 412).

1885.

398. Über die Gruppe des Skapoliths (*Sitzungsber. Berlin. Akad.*, **2**, p. 589; *N. Jahrb. f. Min.*, etc. Beil.-Bd. IV, p. 610).
399. Über einen Glimmer von Branchville, Conn. (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **37**, p. 551).
400. Über die Glimmer von Branchville (*N. Jahrb. f. Min.*, etc., 1885, II, p. 225).

1886.

401. Über einen neuen Fall von Isomorphismus zwischen Uran und Thorium (*Sitzungsber. Berlin. Akad.*, **2**, p. 603).
402. Die chemische Natur der Mineralien, systematisch zusammengestellt.
403. Bildung von Eisenglanz in der Fabrik « Hermannia » zu Schönebeck (*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **38**, p. 913).
404. Über die chemische Natur des Eudialyts [*Sitzungsber. Berlin. Akad.*, I, p. 441; und kürzer : *Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **38**, p. 497 (vergl. auch no. 25)].
405. Beiträge zur chemischen Kenntniss des Vesuvians [*Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, **38**, p. 507 (vergl. auch no. 84 u. 305)].

406. Uber ein krystallisirtes Silicocarbonat aus Sodalauge (*Chem. Industrie.* no. 4).

1887.

407. Uber das Atomgewicht der Yttriummetalle in ihren natürlichen Verbindungen und über den Gadolinit (*Sitzungsber. Berlin. Akad.*, **2**, p. 547).

1889.

408. Uber die chemische Natur der Glimmer (*Ibid.*, **1**, p. 99 ; *Phys. Abhandl. d. Berlin. Akad.*, **1**).

407. Uber den Vesuvian vom Piz Longhin (*N. Jahrb. f. Min.*, etc., 1889, I, p. 229).

1890.

410. Sigterit, ein neuer Feldspath (*Ibid.*, 1890, II, p. 71 ; vergl. hiezu : C. Tenne, *N. Jahrb. f. Min.*, etc., 1891, II, 207).

411. Die chemische Natur der Turmaline [*Abhandl. Berlin. Akad.*, **2**, 75 p. ; kürzer : *N. Jahrb. f. Min.*, etc., 1890, II, p. 149; *Sitzungsber. Berlin. Akad.*, p. 679 (vergl. auch no. 55 u. 197).

1892.

412. Uber die Leucit-und Nephelingruppe (*Sitzungsber. Berlin. Akad.*, **2**, p. 753).

413. Beurtheilung und Werth der Mineralanalysen (*Zeitschr. anorg. Chemie*, **1**, p. 335).

1894.

414. Uber die chemische Natur des Stauroliths (*Sitzungsber. Berlin. Akad.*, **1**, p. 435 ; *N. Jahrb. f. Min.*, Beil.-Bd. **9**, p. 480).

1896.

415. Zur Theorie der Plagioklasmischung (*N. Jahrb. f. Min.*, etc., 1896, II, p. 165).

416. Uber die chemische Natur des Vesuvians [*N. Jahrb. f. Min.*, etc., 1896, **2**, p. 157 (vergl. auch no. 84 u. 294)].

417. Uber die Zuzammensetzung krystallisirter Schlachen (*Zeitschr. f. d. Berg-,Hütten- und Salinenwesen im preuss-Staate*, **34**).

1897.

418. Die Formel des Apatits (*N. Jahrb. f. Min.*, etc., 1897, **II**, p. 38

419. Die Arsenverbindungen des Eisens, Nickels und Kobalts, bezogen auf eine einzige Grundmischung (*Ibid.*, p. 45).

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1901. — BULLETIN N° 6.

Compte rendu de la séance du 9 mai 1901.

PRÉSIDENCE DE M. WYROUBOFF.

M. LE PRÉSIDENT proclame membre de la Société :
M. le comte Gaëtan O'GORMAN, demeurant à Pau, avenue de Barèges, présenté dans la séance précédente par MM. de Gramont et L. Michel.

Étude cristallographique de quelques sels lutéocobaltiques.

Par M. T. KLOBB,
Professeur à l'Université de Nancy.

Le sulfate neutre lutéocobaltique,

$$(Co.6AzH^3)^2(SO^4)^3 + 5H^2O$$

a été décrit autrefois par Dana, qui le considère comme

orthorhombique et *trimorphe* (1). Suivant cet auteur, en effet, il pourrait exister sous trois formes incompatibles : l'une A, dérivant d'un prisme rhombique de 113° 38′ ; l'autre B, d'un prisme de 103° 30′; et la troisième C, d'un prisme de 101° 30′ ; les deux premières, A et B, étant d'ailleurs hémiédriques. De ces trois variétés la première seule est mentionnée dans le *Handbuch für Kristallographie* de Rammelsberg. Si l'on ajoute que Dana considère ce sulfate comme isomorphe avec le chlorure qui, cependant, est anhydre, et que plus tard, Rose (2), examinant à nouveau ce chlorure,

$$(Co.6AzH^3)\,Cl^3$$

l'a trouvé clinorhombique, on voit qu'il devenait intéressant de reprendre ces déterminations. Pour cela, je me suis adressé au séléniate neutre :

$$(Co.6AzH^3)^2\,(SeO^4)^3 + 5H^2O,$$

qui n'avait pas encore été décrit et dont les cristaux très volumineux, isomorphes avec ceux du sulfate, permettent d'étudier facilement le mode de symétrie, tandis que le sulfate, trop souvent, cristallise en aiguilles fragiles imparfaitement développées. J'ai trouvé que tous deux sont nettement *clinorhombiques*.

Je joins à cette étude la détermination de plusieurs autres sulfates et séléniates de la même série, que je décrirai prochainement au *Bulletin de la Société chimique de Paris*.

(1) *Smithsonian, contributions to Knowledje. Researches on the ammonia cobalt bases by Gibbs and Genth.* Washington, 1856.
(2) *Handbuch für Kristallographie.* Rammelsberg.

SÉLÉNIATE LUTÉOCOBALTIQUE.

$$(\mathrm{Co.6AzH^3})^2\,(\mathrm{SeO^4})^3 + 5\mathrm{H^2O}.$$

S'obtient en gros cristaux isolés brun jaune extrêmement solubles dans l'eau, en neutralisant l'hydrate lutéocobaltique par l'acide sélénique, évaporant d'abord à une douce chaleur, puis à froid sous cloche. L'orientation qui paraît la plus naturelle et qui donne la notation Lévy la plus simple,

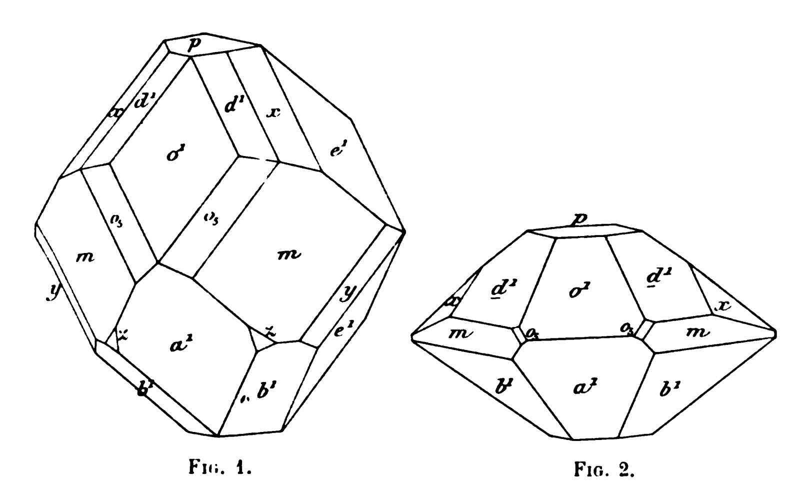


Fig. 1. Fig. 2.

consiste à prendre, comme forme primitive, un prisme clinorhombique de 121° 10′ avec $\gamma = 102° 02'$. Mais, par analogie avec le sulfate et pour voir comment ce dernier a été décrit comme orthorhombique, il est préférable de prendre $mm = 97° 14'$ et $\gamma = 90° 35'$. On a alors pour la relation axiale :

$$1.1330 : 1 : 1.4023$$

Faces observées :

p (001), e^1 (011), o^1 (101), a^1 ($\bar{1}$01), m (110), d^1 (112), b^1 ($\bar{1}$12), x (123), o_3 (321), y ($\bar{1}$21), z ($\bar{3}$23)

	Trouvé	Calculé
($\bar{1}$21) (12$\bar{1}$)*	58° 50′	—
(101) (10$\bar{1}$)*	77° 38′	—
(101) (112)*	35° 42′	—
(001) (101)	50° 45′	50° 40′
(001) ($\bar{1}$01)	51° 17′	51° 22′
(001) (110)	89° 27′	89° 37′
(001) (112)	environ 43°	42° 52′
(112) (110)	46° 27′	46° 45′
(001) ($\bar{1}$12)	43° 30′	43° 13′
($\bar{1}$12) ($\bar{1}$10)	environ 47°	47° 10′
(110) (1$\bar{1}$0)	97° 16′	97° 14′
(101) (321)	42° 14′	42° 16′
(321) (110)	16° 29′	16° 42′
(110) (121′)	25° 09′	25° 09′
(101) ($\bar{1}$12)	83° 48′	83° 37′
(101) ($\bar{1}$21)	84° 05′	84° 07′
(112) (123)	12° 23′	12° 30′
(123) (011)	20° 05′	20° 13′
(011) ($\bar{1}$21)	27° 16′	27° 28′
(101) (32$\bar{3}$)	79° 35′	79° 39′
(32$\bar{3}$) (11$\bar{2}$)	16° 30′	16° 44′

Les figures (1) et (2) représentent quelques-uns · aspects observés (1). La forme arrondie de la figure (1 ·· la plus habituelle ; (323) est toujours petit, la plupart temps nul. Plus souvent les cristaux s'allongent suiv

(1) Dans ces figures, on a : $x = (123)$, $z = (\bar{3}23)$, $y = \bar{1}21$). *Idem* p. ·. sulfate.

l'orthodiagonale et ressemblent au sulfate qui sera décrit plus loin. Les cristaux ne donnent pas toujours de bonnes images, quelques-unes de leurs faces devenant mates par la dessiccation sur le papier buvard.

Enfin, en prenant pour base du prisme la face (101), toujours bien développée, on aurait pour γ la valeur 102° 02′, et la nouvelle notation serait :

$\gamma = 90°35'$ (001) (011) (101) $(\bar{1}01)$ (110) (112) $(\bar{1}12)$ (123) (321) $(\bar{1}21)$ $(\bar{3}23)$

$\gamma = 102°02'$ $(\bar{1}01)$ $(\bar{1}11)$ (001) $(\bar{1}00)$ (111) $(\bar{1}13)$ $(\bar{3}11)$ $(\bar{1}12)$ (112) (110) $(\bar{3}10)$

SULFATE LUTÉOCOBALTIQUE.

$(Co.6AzH^3)^2 (SO^4)^3 + 5H^2O.$

Ce sel a été préparé par différents procédés : soit par combinaison de l'ammoniaque avec le sulfate roséocobal-

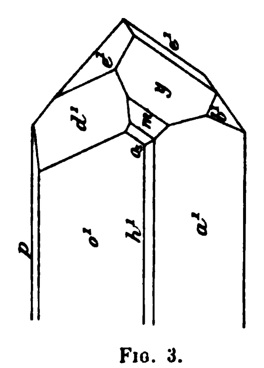


Fig. 3.

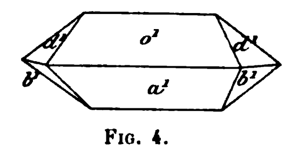


Fig. 4.

tique, comme l'avaient fait Gibbs et Genth pour les cristaux mesurés par Dana, soit en oxydant au moyen du bioxyde de plomb une solution ammoniacale de sulfate de cobalt,

procédé que j'ai étendu à la préparation de tous les sels lutéo-cobaltiques, ou bien encore en décomposant par l'eau le sulfate acide qui sera décrit plus loin. Quel que soit le mode opératoire, les cristaux obtenus, lorsqu'ils sont exempts de chlorure et de nitrate, ont un aspect bien constant.

La forme est la même que pour le séléniate, on a :

$$mm = 96°38' \qquad \gamma = 90°18'$$
$$1.1230 : 1 : 1.4143$$

et on trouve les mêmes faces, sauf (123), qui manque et est remplacé ici par (100). La forme complète est donc :

p (001), e^1 (011), o^1 (101), a^1 ($\bar{1}$01), m (110), h^1 (100), d^1 (112), b^1 ($\bar{1}$12), o_3 (321), y ($\bar{1}$21), z ($\bar{3}$23)

Tableau des angles.

	Trouvé	Calculé		Trouvé	Calculé
($\bar{1}$21) ($\bar{1}$01)*	60°27′	—	($\bar{1}$21) (12$\bar{1}$)	59°06′	59°06′
(101) (101)*	76°54′	—	(112) (011)	33°05′	32°57′
(101) (112)*	35°55′	—	(011) ($\bar{1}$21)	27°25′	27°32′
(001) (101)	51°30′	51°22′	(101) (32$\bar{3}$)	78°30′	78° [illegible]
(110) (100)	48°30′	48°19′	(32$\bar{3}$) (11$\bar{2}$)	16°45′	16°37′
(101) (321)	42°	42°01′	(100) (10$\bar{1}$)	38°30′	38°31′
(321) (110)	16°33′	16°31′	(112) ($\bar{1}$12)	54°22′	54°25′
(101) (110)	58°34′	58°33′	($\bar{1}$01) ($\bar{1}$12)	36°05′	36°01′
(110) (12$\bar{1}$)	24°56′	25°01′	($\bar{1}$12) (011)	33°05′	33°02′
(101) ($\bar{1}$12)	84°33′	84°39′	(011) (110)	52°18′	52°17′
(101) ($\bar{1}$21)	83°29′	83°35′	(110) (10$\bar{1}$)	58°25′	58° [illegible]

Les cristaux sont très brillants et donnent d'excellentes mesures ; en revanche, ils sont de petite dimension. La figure (3) représente la forme habituelle, l'allongement se

faisant, suivant l'axe horizontal, avec les faces $(12\bar{1})$ (y) très développées, et $(32\bar{3})$ (3) très petit ou nul.

Souvent aussi le développement relatif des faces varie à tel point que les cristaux sont méconnaissables. Enfin on rencontre quelques cristaux de forme arrondie, comme le séléniate (très rare), et des cristaux hémimorphes dans lesquels le prisme (101) $(10\bar{1})$ se termine, d'un côté, par les faces (112) et $(\bar{1}12)$ et, de l'autre, par les faces $(12\bar{1})$.

Reportons-nous maintenant aux indications de Dana ; on voit que sa forme B (*fig.* 16, du mémoire de Gibbs et Genth) correspond à la *fig.* (3) ci-dessus. Seulement Dana prend le prisme (101) $(10\bar{1})$, comme prisme vertical, et la face (011), très fréquente dans les cristaux que j'ai examinés, n'est pas signalée par cet auteur. D'ailleurs la face qu'il note 1/4, $(12\bar{1})$ Klobb, ne peut être hémièdre, puisqu'elle se rencontre souvent dans une même zone aux deux extrémités du cristal, et dans cette zone seulement, d'où il suit que la symétrie est nettement clinorhombique. Quant à la figure (17) du mémoire, elle correspond à la figure (4) ci-dessus ; comme les faces (101) $(10\bar{1})$ ont un développement égal et que l'angle (101) (112) est à peine différent de l'angle $(\bar{1}01)$ $(\bar{1}12)$, soit, 35° 55′ et 36° 01′, le cristal réalise en apparence la symétrie orthorhombique ; c'est une conséquence de la symétrie limite.

Quant à la forme A, on peut remarquer qu'elle se confond, à quelques minutes près, avec le chlorure lutéocobaltique décrit aussi par Dana (*fig.* 11 et 12) ; aussi paraît-il vraisemblable que quelques cristaux de chlorure se soient mélangés fortuitement à ceux de sulfate et aient été décrits comme tels ; on pourrait expliquer de la même façon la forme C, qui est sans doute une impureté, peut-être du nitrosulfate.

Lorsqu'on prépare des sels ammonio-cobaltiques, on obt... presque toujours quelques cristaux d'un sel différent, lors... les matières premières ne sont pas pures.

Enfin l'existence d'un chlorure-sulfate et d'un chlor... séléniate lutéocobaltiques (1) bien définis :

$$(Co.6AzH^3)\ SO^4Cl + 3H^2O.$$

cristallisant en prismes rhombiques de 90° 05' ; montre l'absence complète d'isomorphisme entre le chlorure ... sulfate.

SULFATE ACIDE.

$$2\ [(Co.6AzH^3)^2\ 3SO^4] + 5SO^4H^2 + 10H^2O.$$

Obtenu en petits cristaux octaédriques par addit... excès d'acide sulfurique à la solution chaude du s... neutre. On peut, par tâtonnements, trouver une ... d'acide telle que la cristallisation ne commence ... refroidissement ; on se procure ainsi assez facilement ... cristaux déterminables.

Forme primitive orthorhombique limite.

0.99913 : 1 : 1.0006.

Presque toujours on observe seulement l'octaèdre ... mitif (111), dont les angles se confondent prati... avec ceux de l'octaèdre régulier. Quelques rares cr... sont pourvus, en outre, de la base p, des faces a ... m, ces derniers à peine visibles.

Angles	Observé	Calculé
(001) (111)	* 54° 46′	—
(001) (021)	* 63° 27′	—
(001) (201)	»	—
(111) ($\bar{1}$11)	70° 35′	70° 32′
(201) (111)	39° 15°	39° 13′
(111) (021)	39° 15°	39° 16′
(201) (20$\bar{1}$)	53° 03′	53° 04′

Les cristaux sont nettement biréfringents et présentent, sous les nicols croisés, des extinctions rectangulaires lorsqu'ils sont posés sur leur base (001).

Ce sel est décomposé par l'eau.

SÉLÉNIATE-ACIDE.

$$(Co.6AzH^3)^2.\ 3SeO^4 + SeO^4H^2 + 5H^2O.$$

On voit que ce sel a une composition plus simple que le précédent on le prépare aisément en additionnant l'hydrate lutioconattique ou le séléniate neutre d'un excès d'acide sélénique. Il est moins soluble que le séléniate neutre.

Cristaux assez volumineux, *tricliniques* allongés suivant l'axe vertical, les faces m, t, g^2, toujours bien développées, h^1 et g^1 linéaires et difficiles à mesurer. La notation est :

m ($\bar{1}$10), t (110), h^1 (100), g^1 (010), p (001), g^2 (130), o^1 (101), x ($\bar{1}$32)

0.84550 : 1 : 0.47285

$\alpha = 88° 50'$ $\beta = 80° 50'$ $\gamma = 86° 47'$

Tableau des angles.

Angles		Observé	Calculé
mt	$(1\bar{1}0)$ (110)	* 81°04′	—
pm^1	(001) $(\bar{1}10)$	* 86°28′	—
pg^2	(001) (130)	* 80°22′	—
g^1m	$(13\bar{0})$ (110)	* 70°28′	—
	$(\bar{1}10)$ $(\bar{1}32)$	* 56°28′	—
ph^1	(001) (100)	—	86°56′
pg^1	(001) $010)$	—	80°54′
h^1g^1	(100) (010)	—	90°40′
th^1	(110) (100)	40°44′	40°49′
mh^1	$(1\bar{1}0)$ (100)	40°20′	40°15′
g^2g^1	(130) (010)	21°21′	21°23′
po^1	(001) (101)	28° environ	28°10′
	$(\bar{1}01)$ $132)$	51°33′	51°28′
	$(\bar{1}32)$ (130)	57°	56°52′
	(001) $(\bar{1}32)$	34°50′	34°36′
mo^1	$(1\bar{1}0)$ (101)	72°	72°04′

On trouve assez souvent des cristaux maclés.
L'eau ne dissocie pas ce sel.

CHLORURE-SULFATE.

$$(Co.6AzH^3)\ SO^4.Cl + 3H^2O.$$

S'obtient directement à partir du sulfate et du chlorure de cobalt, ou bien en traitant la solution du chlorure lutéo-cobaltique par l'acide sulfurique ou un sulfate.

Forme primitive orthorhombique.

0.99855 : 1 : 1.0538.

Faces observées :

p (001), m (110), e^1 (011), a^1 (101), $e^{1/2}$ (021), $b^{3/4}$ (223)

Angles	Observé	Calculé
110 — 1$\bar{1}$0	* 89° 55′	—
001 — 021	* 64° 37′	—
021 — 0$\bar{2}$1	50° 51′	50° 46′
021 — 110	50° 20′	50° 18′
101 — 110	59° 05′	59° 05′
101 — 021	72° 48′	72° 51′
001 — 223	44° 56′	44° 50′
001 — 011	46° 37′	46° 30′
001 — 101	46° 37′	46° 32′

Lorsque le sel cristallise rapidement, les cristaux se présentent sous la forme d'aiguilles formées par les faces du prisme, allongées suivant l'axe vertical et portant les troncatures $e^{1/2}$, a^1 à leurs extrémités. La face e^1 est plus rare et mal développée. Exceptionnellement on la rencontre lorsque le chlorure lutéocobaltique, se déposant au sein d'une solution chargée d'ammoniaque et de sels ammoniacaux, se trouve mêlé un peu de chlorure-sulfate, par suite de la présence, dans les matières premières, d'un peu de sulfate. Par évaporation lente à froid, $e^{1/2}$ et a^1 deviennent prépondérants. Enfin la facette $b^{3/4}$ n'a été trouvée que sur trois cristaux ; elle était d'ailleurs difficile à mesurer, en raison de sa petitesse.

CHLORURE-SÉLÉNIATE.

$(Co.6AzH^3)\ SeO^4Cl + 3H^2O.$

Isomorphe avec le précédent. *Orthorhombique.*

0.99869 : 1 : 1.0563

Faces :

p (001), *m* (110), e^1 (011), a^1 (101), $a^{1/2}$ (201)

Angles	Observé	Calculé
110 — 1$\bar{1}$0	* 89° 55′ 36″	—
001 — 201	* 64° 42′	—
201 — 201	50° 26′	50° 30′
201 — 101	18° 04′	18° 06′
001 — 101	46° 40′	46° 36′
001 — 011	46° 41′	46° 34′
101 — 101	86° 43′	86° 48′

L'aspect habituel des cristaux est le même qu'avec le chlorure-sulfate; cependant les faces *m* sont souvent tr... réduites par suite du développement excessif de la zone $a^1\ a^{1/2}$.

SULFATE DOUBLE.

$(Co.6AzH^3)^2\ 3SO^4 + SO^4\,(AzH^4)^2 + 8H^2O.$

S'obtient en faisant cristalliser le sulfate lutéocobalt... en présence d'un excès de sulfate d'ammoniaque ; on p... aussi le préparer directement à partir du sulfate de co... Lorsque la température du laboratoire atteint environ ... on obtient des cristaux isolés qui peuvent atteindre ... volume considérable.

Forme primitive orthorhombique.

Faces observées :

m (110), p (001), h^1 (100), g^1 (010), (g^3 (120), b^1 (112), a^2 (102), e^2 (012), e^4 (014)

L'apparence la plus ordinaire est celle d'un octaèdre (112) modifié par les dômes (012), (102); (014) est plus rare; (120) toujours très réduit [*fig.* (5)]. La forme tabulaire est assez commune, par suite du développement plus considérable de la base (001).

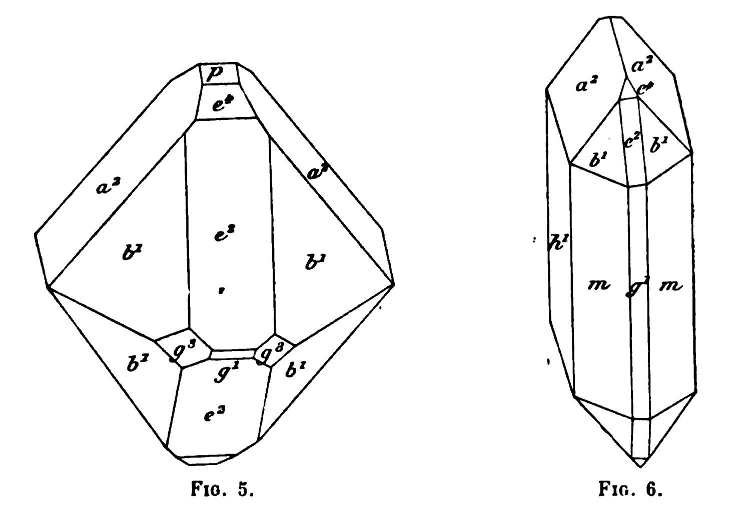


Fig. 5. Fig. 6.

Enfin la zone verticale, prépondérante dans la figure 6, est rarement très développée.

0.97472 : 1 : 1.1993

Angles	Observé	Calculé
110 — 1$\bar{1}$0	* 88° 32′	—
112 — 110	* 30° 12′	—
110 — $\bar{1}$10	91° 30′	91° 28′
120 — 110	—	18° 35′
001 — 112	59° 47′	59° 48′
001 — 102	50° 37′	50° 54′
001 — 012	50° 14′	50° 11′
014 — 012	19° 16′	19° 14′
014 — 0$\bar{1}$4	61° 53′	61° 54′
110 — 100	44° 19′	44° 16′
110 — 010	45° 46′	45° 44′
120 — 100	62° 53′	62° 51′
012 — 100	39° 04′	39° 06′
112 — 102	37° 05′	37° 06′
112 — 012	38° 21′	38° 14′
112 — 100	51° 47′	51° 46′

Humectés d'eau froide, ces cristaux deviennent opaqu... Ils se dissolvent sans se ternir dans une solution concentr... de sulfate d'ammoniaque.

SÉLÉNIATE DOUBLE (A).

$$(Co.6AzH^3)^2\,3SeO^4 + SeO^4(AzH^4)^2 + 8H^2O.$$

Lorsqu'on neutralise par l'ammoniaque une solution . séléniate lutéocobaltique acide, on obtient, par évaporat... spontanée, des cristaux généralement volumineux qui rep... sentent tantôt l'hydrate (A) à $8H^2O$, isomorphe avec le sel pr... cédent, tantôt l'hydrate (B) à $4H^2O$, qui est clinorhombiq...

L'hydrate (A) ressemble en tous points au sulfate corr...

pondant. *Orthorhombique*

0.95953 : 1 : 1.2024

Faces observées :

m (110), p (001), h^1 (100), g^1 (010), b^1 (112) a^2 (102), e^2 (012)

Les facettes g^3 et $e^{\frac{1}{2}}$, qui s'observent dans le sulfate, n'ont pas été rencontrées ici. La forme générale est celle de l'octaèdre b^1 plus ou moins modifié par les autres troncatures, assez peu développées.

Angles	Observé	Calculé
110 — $\bar{1}$10	* 92° 22′	—
110 — 112	* 29° 56′	—
110 — 1$\bar{1}$0	87° 46′	87° 38′
110 — 100	43° 50′	43° 49′
001 — 012	50° 07′	50° 15′
001 — 102	51° 20′	51° 24′
012 — 0$\bar{1}$2	79° 30′	79° 46′

SÉLÉNIATE DOUBLE (B).

$(Co.6AzH^3)^2\ 3SeO^4 + SeO^4(AzH^4)^2 + 4H^2O.$

Ce sel est celui qui se dépose le plus souvent par évaporation spontanée, lorsqu'on additionne le sulfate neutre d'un excès de séléniate d'ammoniaque, ou lorsqu'on neutralise par l'ammoniaque le séléniate acide.

Il est clinorhombique.

1.4285 : 1 : 0.64688

$\gamma = 94° 42'$

Faces :

p (001), m (110), h^1 (100), a^1 ($\bar{1}$01), o^1 (101), $o^{1/3}$ (301), x (121

Angles	Trouvé	Calculé
100 — 101	* 61° 47′	—
110 — 100	* 54° 55′	—
101 — $\bar{1}$01	* 48° 38′	—
001 — 100	environ 85° 30′	85° 18′
001 — 101	— 23° 30′	23° 31′
$\bar{1}$01 — $\bar{1}$00	69° 27′	69° 35′
301 — 100	34° 35′	34° 41′
121 — 101	—	48° 45′
121 — 110	37° 17′	37° 24′
121 — $\bar{1}$10	64° 30′	64° 07′

Cristaux prismatiques volumineux allongés toujours suivant l'axe horizontal; la face p peu réfléchissante; o^1, a^1, h^1, bien développés; (121) peu fréquent.

SEL DOUBLE.

$$(Co.6AzH^3)^4 (SO^4)^5 Cl^2 + 3 [SO^4(AzH^4)^2] + 6H^2O.$$

Il se forme par évaporation spontanée d'une solution de chlorure-sulfate, à laquelle on a ajouté un excès de sulfate sel d'ammoniaque.

Petits cristaux très réfléchissants isotropes, appartenant au système *régulier ;* les faces observées sont celles du cube. de l'octaèdre et du dodécaèdre rhomboïdal; l'apparence générale est celle d'un octaèdre plus ou moins modifié.

Ce sel est décomposé par l'eau.

Reproduction artificielle de la monétite.

Par M. A. DE SCHULTEN.

Le phosphate dicalcique anhydre, qui constitue la monétite, a été préparé antérieurement par plusieurs procédés, soit en faisant agir de l'eau à 100° sur le phosphate monocalcique ou sur le phosphate dicalcique à 2 molécules d'eau de cristallisation, soit par le chauffage à 100° d'une solution acide de phosphate de calcium, ou encore en précipitant, à chaud, une solution de phosphate disodique par le chlorure de calcium. Les produits obtenus par ces procédés sont plus ou moins impurs. Ils se présentent sous la forme de cristaux microscopiques ou de grains imparfaitement cristallisés.

J'ai obtenu la monétite à l'état pur et en cristaux déterminables, en faisant agir très lentement, à chaud, l'ammoniaque sur une solution de phosphate de calcium dans l'acide chlorhydrique. On opère de la manière suivante : on dissout 70 grammes de chlorure de calcium anhydre dans une petite quantité d'eau, on ajoute une solution concentrée de 226 grammes du sel $HNa^2PO^4 + 12H^2O$, on amène au volume de 500 centimètres cubes, on dissout le précipité dans 80 centimètres cubes d'acide chlorhydrique de la densité 1,19 et on filtre. On chauffe la liqueur, au bain-marie, dans un ballon ouvert et on y fait tomber goutte à goutte de l'ammoniaque à 0,6 p. 100 (2 à 4 gouttes par minute). Chaque goutte détermine, à la surface, la formation d'un précipité qui se redissout aussitôt. Au bout de quelque temps, on voit apparaître de petits cristaux au fond du vase. Si ces premiers cristaux se sont formés trop brusquement,

on filtre la liqueur et on continue l'opération en modérant l'écoulement de l'ammoniaque. Si la quantité du liquide dans le ballon diminue, au cours de l'opération, on ajoute de l'eau de temps en temps. Au bout de deux à trois semaines, les cristaux ont atteint des dimensions qui permettent de les mesurer au goniomètre. Les plus gros ont 1 millimètre de longueur, $0^{mm},7$ de largeur et $0^{mm},3$ d'épaisseur. On lave les cristaux avec de l'eau, puis avec de l'alcool et de l'éther.

L'analyse des cristaux a donné les résultats suivants, qui conduisent à la formule de la monétite, $HCaPO^4$:

	Trouvé	Calculé
H^2O	6,66	6,62
P^2O^5	52,09	52,21
CaO	41,18	41,17
	99,93	100,00

La monétite artificielle est en cristaux tricliniques,

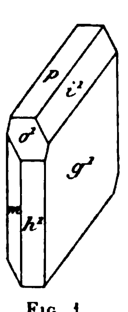


Fig. 1.

groupés, incolores et limpides. On observe les faces g^1 (010), dominante, p (001), h^1 (100), m (1$\bar{1}$0), i^1 (011) et o^1 (101). Les faces, excepté p, donnent des images satisfaisantes.

Les angles des axes sont : $\alpha = 96° 40'$, $\beta = 88° 44'$ et $\gamma = 103° 48'$.

Le rapport des axes est :

$$a : b : c = 1,049 : 1 : 1,044$$

Angles des normales.

	Observé	Calculé
g^1h^1 (010) (100)	*83° 27′	
g^1m (010) ($\bar{1}10$)	*47° 41′	
g^1i^1 (010) (011)	*44° 15′	
g^1o^1 (010) (101)	*85° 38′	
h^1o^1 (100) (101)	38° 6′	38° 6′
o^1i^1 (101) (011)	52° 41′	52° 55′
mi^1 ($\bar{1}10$) (011)	*68° 57′	

L'extinction sur g^1 se fait sous un angle de 23° environ avec l'arête g^1p vers l'angle des arêtes p et h^1. Sur o^1, l'extinction se fait sous un angle d'environ 30° avec l'arête g^1o^1 vers l'angle des arêtes g^1 et i^1.

La densité de la monétite artificielle est de 2,928 à 15°; celle du minéral naturel est égale à 2,75 (Dana, *System of Mineralogy*).

Le minéral qui se rapproche le plus de la monétite est la martinite, dont la composition, d'après M. Kloos, correspond à la formule $H^2Ca^5(PO^4)^4 + 1/2H^2O$, et dont la densité est de 2,894. D'après le même auteur, la martinite cristallise en rhomboèdres dont les angles plans sont de 75° et 105°. Or les angles plans de la face g^1 chez la monétite ont à peu près les mêmes valeurs. Il est vrai que chez la monétite l'extinction sur la face g^1 se fait sous un angle assez grand (15° environ) avec les diagonales du rhombe. Mais, vu la petitesse des cristaux de martinite ($0^{mm},05$), il se pourrait qu'on n'ait pas pu déterminer exactement la direction de

l'extinction. En somme, la monétite et la martinite paraissent si voisines qu'on peut se demander si ces deux minéraux ne sont pas identiques. Il est permis d'espérer que la martinite sera soumise à un nouvel examen en vue de trancher cette question.

Sur les faces de dissolution de la calcite et sur les figures de corrosion des carbonates rhomboédriques.

Par M. Paul GAUBERT.

Les belles expériences de Lavizzari (1) nous ont appris qu'un cristal, dont toutes les faces ont été supprimées et auquel on a donné artificiellement une forme n'ayant rien de commun avec celle du début, reprenait la symétrie extérieure du système cristallin auquel appartient la substance. Les recherches ont été faites sur la calcite. Une sphère de spath d'Islande était plongée dans l'acide azotique; au bout de quelque temps, des arêtes apparaissaient, par suite de la formation de plans, et la sphère se transformait graduellement en un scalénoèdre assez aplati, qui, lui-même, devenait un solide limité par deux pyramides égales (isoscéloèdre). O. Meyer (2) a répété l'expérience de Lavizzari, en remplaçant l'acide azotique par l'acide acétique. La sphère se modifie beaucoup plus lentement qu'avec l'acide azotique et elle représente finalement un solide limité par des faces triangulaires qui n'ont pas la régu-

(1) L. LAVIZZARI, *Nouveaux phénomènes des corps cristallisés*, Lugano, 1865.

(2) O. MEYER, *Aetzversuche an Kalkspath. Neues. Jahrb. fur. Min.*, 1883. t. I, p. 74.

larité de celles qui sont obtenues avec le premier acide. M. A. Hamberg (1), au lieu d'expérimenter sur une sphère, a pris un cylindre taillé dans du spath d'Islande.

Il a constaté que les faces qui se forment dans l'acide chlorhydrique sont e^5, $e^{1/2}$, $a^{5/2}$, et s'est aussi occupé des faces qui apparaissent sur les arêtes par l'attaque d'un acide.

Molengraaff (2), en étudiant l'action de l'acide fluorhydrique sur les faces du quartz, est arrivé à admettre, à la suite des résultats qu'il a obtenus, que certaines formes naturelles de ce minéral ne sont que des faces de corrosion.

La production des faces sur un cristal en voie de destruction sous l'influence d'un fluide a été aussi constatée par beaucoup d'autres observateurs; mais l'attention a surtout été attirée par les figures de corrosion des cristaux. Celles-ci sont limitées aussi par des faces de dissolution qui sont souvent les mêmes que celles qui se produisent sur les arêtes ou sur un cristal sur lequel des faces artificielles ont été produites.

Les figures de corrosion ont été, en effet, l'objet d'un très grand nombre de travaux ayant presque tous pour but d'établir la symétrie d'une substance. Cependant von Ebner (3) a étudié les figures de la calcite à un point de vue différent et se rapprochant, en somme, de celui auquel s'était placé Lavizzari; il s'en est servi pour étudier les faces de dissolution de ce minéral et est arrivé à considérer qui c'était suivant la face e^1 $(02\bar{2}1)$ que se faisait cette dernière.

Le but du présent travail est de rechercher les formes que se produisent lorsqu'un cristal de calcite est attaqué par les

(1) A. Hamberg, *Geol. Fören. Förhandl.*. t. XII ; 1890.
(2) Molengraaf. *Zeitsch. f. Kryst. t. XIV*, p. 173. 1888.
(3) Von Ebner, *Die Lösungflächen des Kalkspathes und Aragonites. I. Die Lösungsflächen und Losungsgestalten des Kalkspathes. Sitz. der Kais. Akad. der Wissensch.*, t. LXXXIX, p. 368.

acides. On peut se placer à deux points de vue différents : 1° chercher les grandes faces qui remplacent celles du cristal primitif et qui appartiennent à une seule forme ; 2° déterminer les formes qui limitent les figures de corrosion produites sur les différentes faces. Nous allons commencer par étudier les premières formes.

I. — Formes de dissolution limitant tout le cristal.

Quelques formes de dissolution ont des indices simples : parmi elles se trouvent, en effet, les rhomboèdres b^1, e^1. Elles persistent jusqu'à la destruction complète de la substance. Les faces restent planes et les arêtes demeurent vives, elles ne sont pas remplacées, comme cela a lieu pour les formes qui ne sont pas stables, par d'autres arêtes.

Je ne vais passer en revue que quelques-unes des nombreuses formes existant au contact de l'acide chlorhydrique. L'acide employé était à 20 0/0.

Rhomboèdre b^1 ($01\bar{1}2$). — Ce romboèdre est assez fréquent dans la nature, et assez souvent il est strié parallèlement à la petite diagonale. Un cristal de calcite ayant cette forme persiste sans aucun changement dans l'acide chlorhydrique concentrée, ses arêtes restent vives, le fait est surtout remarquable pour les arêtes latérales qui sont le sommet d'un dièdre assez aigu. Dans une des expériences que j'ai faites, il s'est produit, sur deux seulement des arêtes du sommet, des faces d'un scalénoèdre mais, ce qui est à remarquer, c'est que l'une des faces du biseau s'est développée bien avant et beaucoup plus que l'autre, et comme les deux faces existant sur les deux arêtes étaient placées de la même façon, cela paraissait montrer que la calcite possède la même symétrie que la dioptase ou que la dolomie. Mais, par l'action prolongée de l'acide, il s'est produit la deuxième

face. Cependant l'angle qu'elle faisait avec b^1 était plus petit que celui de l'autre (2° au lieu de 4). Le cristal ayant été replongé dans l'acide chlorhydrique, ces deux faces, qui étaient très brillantes, ont disparu, et les arêtes b^1b^1 ont persisté jusqu'à la destruction du cristal.

La face b^1, étant une face de dissolution, ne doit pas donner dans l'acide chlorhydrique des figures de corrosion ; elle n'en donne pas en effet, et ce n'est que par suite de l'irrégularité surface qu'il peut s'en produire, comme on le verra de la plus loin.

Une face b^1, taillée artificiellement sur l'arête b d'un rhomboèdre de clivage, se développe de plus en plus à mesure que le cristal est attaqué par l'acide chlorhydrique, et si l'on a produit cette face sur les six arêtes, le rhomboèdre de clivage devient le rhomboèdre b^1. Naturellement, suivant les dimensions de l'échantillon sur lequel on expérimente, les arêtes doivent être tronquées par une face artificielle plus ou moins large, si l'on veut arriver à n'avoir que la forme b^1.

La différence de dissolution entre les faces p et b^1 est très facile à mettre en évidence. Un rhomboèdre de clivage ayant une face artificielle b^1 est plongé dans l'acide chlorhydrique. Au bout d'une minute, la face p présente de nombreuses cavités alors que la face b^1 est brillante et tout à fait plane. Si le polissage est grossier et que la face artificielle soit sans éclat, l'action de l'acide a pour effet de la rendre moins irrégulière qu'avant l'attaque.

Rhomboèdre e^3 $(40\bar{4}1)$. — Beaucoup de cristaux naturels ont cette forme, seule combinée avec d^2 ou e^1 ; mais celles-ci sont souvent peu développées. Ces cristaux conservent la forme e^3 dans l'acide chlorhydrique, mais perdent les autres Les arêtes, bien qu'elles appartiennent à un angle aigu persistent jusqu'à la fin.

Ce rhomboèdre est obtenu en attaquant les cristaux de calcite ayant la forme du scalénoèdre d^2 (21$\bar{3}$1). Ces cristaux perdent tout de suite les arêtes qui sont sur la face p (10$\bar{1}$1), alors que celles qui se projettent sur l'arête b deviennent de plus en plus aiguës pour devenir celles de e^3. Les faces du scalénoèdre s'arrondissent, et elles sont finalement remplacées deux par deux par celles de e^3 qui persistent jusqu'à la destruction complète du cristal. Si le scalénoèdre d^2 est combiné, comme cela arrive souvent avec le rhomboèdre inverse e^1, les faces de celui-ci disparaissent très rapidement.

Scalénoèdres. — La production des scalénoèdres est fréquente dans la calcite. Un rhomboèdre de clivage plongé dans l'acide chlorhydrique, présente aussitôt les formes b^x. Si l'échantillon ne dépasse pas un demi-centimètre, les faces b peuvent limiter entièrement le cristal. Souvent elles sont combinées avec e^3 ou avec d^x. Ces faces ne sont pas toujours aussi brillantes que b^1, et sont aussi un peu courbes.

Un scalénoèdre apparaît aussi sur les arêtes de e^1. On obtient souvent cette forme, lorsqu'on attaque la base, mais alors on a plusieurs scalénoèdres.

La dolomie donne aussi des scalénoèdres, mais ceux-ci ont des faces très peu étendues.

Il existe donc plusieurs formes stables dans l'acide chlorhydrique, et qui se produisent non à cause de la nature du gisement et par conséquent des conditions dans lesquelles s'est faite la cristallisation et des matières étrangères qui peuvent être incluses, mais de la forme extérieure du cristal; un cristal arrondi donne un scalénoèdre aplati, et un scalénoèdre aigu, un rhomboèdre aigu, et les rhomboèdres aplatis restent tels quels. On peut dire qu'il se produit, parmi les formes stables, celle qui se rapproche le plus de celle du cristal soumis à l'expérience. Il est à remarquer que les

formes décrites diffèrent de celles qu'a obtenues M. Hamberg; celui-ci a vu, en effet, la formation de e^5, e^1, a^5, qui existent dans les figures de corrosion.

Les formes changent avec la dilution de l'acide et la température. Ce fait est surtout facile à constater par l'examen des figures de corrosion.

Irrégularités de formes. — Le dégagement d'acide carbonique paraît gêner, dans une certaine mesure, la formation régulière des forces. Un cristal dépose au fond d'un vase sur une surface de grandes dimensions, offre des inégalités dans les différentes faces, et on peut constater facilement que la face qui est en contact avec le fond du vase présente souvent des canalicules irréguliers dus au dégagement de l'acide carbonique; mais ces irrégularités de la face ne se produisent que si tout le gaz qui se dégage passe sur les mêmes parties.

Les cristaux présententfréquemment des traces de clivage, suivant lesquelles l'attaque de la substance se fait beaucoup plus rapidement que sur le reste de la surface, et il y a production de stries profondes et plus ou moins larges.

FIGURES DE CORROSION DES CARBONATES RHOMBOÉDRIQUES.

Calcite.

Les figures de corrosion de la calcite ont été principalement étudiées par Brewster (1), von Kobell (2), Haushofer (3), qui ont surtout considéré les figures lumineuses

(1) D. Brewster, *Phil. Mag.*, 1853.

(2) Von Kobell, *Sitz. d. R. bayr. Akad. d. Wiss.* Munich, 1862, vol. I.

(3) K. Haushofer, *Ueber den Asterismus und die Brewsterischen Licht figuren um Calcit. — Habilitationsschrift*, Munich, 1865.

et l'astérisme, et par H. Baumhauer (1), von Ebner (2), H. Höfer (3).

Haushofer a décrit un grand nombre de ces figures et montré leur variabilité et leur relation avec les figures lumineuses de Brewster. Il a établi qu'elles étaient limitées par des formes appartenant à des rhomboèdres et des scalénoèdres.

Les différents acides ne produisent pas les mêmes figures, je vais passer en revue l'action de quelques-uns d'entre eux.

Acide chlorhydrique. — Les figures produites avec cet acide varient beaucoup suivant le degré de dilution. En général elles offrent des formes d'autant plus compliquées que l'acide est plus dilué. La figure 4, pl. I, représente celles qu'on obtient avec de l'acide à 2 ou 3 0/0. Elles sont formées par deux faces de rhomboèdres et par deux scalénoèdres et sont de même forme que celles qui sont obtenues avec l'acide acétique à froid.

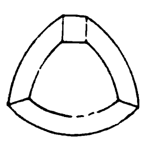


Fig. 1.

Avec un acide un peu moins dilué, on obtient les figures triangulaires et à contours curvilignes bien connues. Avec de l'acide à 20 0/0, qui a une action très énergique, on produit des figures à arêtes très vives et représentées par la photographie 1, pl. I. Elles sont limitées en bas par une face a^x et latéralement par un scalénoèdre dont les angles sont variables, mais qui souvent a pour symbole d^x. La mesure des angles ne peut pas être faite avec une grande précision. Cette photographie montre, en outre, que les faces *a* présentent des stries concentriques qui sont parfois plus visibles.

Il est aussi à remarquer que les mêmes irrégularités.

(1) H. Baumhauer, *Ann. de Pogg.*, t. 138, p. 563, et t. 139, p. 349.
(2) Von Ebner, *Loc. cit.*
(3) H. Höfer, *Tsch. Mittheil.*, 2e série, t. XII, p. 487.

telles que le défaut de parallélisme de certaines arêtes, se reproduisent sur toute la préparation. Presque toujours, la régularité des figures est beaucoup plus grande que celle de la partie de la préparation que j'ai choisie ici, mais cette dernière montre mieux le relief.

Si l'acide est plus concentré, l'attaque est moindre et les figures deviennent triangulaires.

Lorsque l'acide est à 30 0/0, elles sont assez semblables à celles présentées figure 1, pl. I, mais l'arête séparant les deux faces du scalénoèdre n'existe plus; elle est remplacée par une troncature formée par e^x, probablement e^3.

Si l'acide est encore plus concentré ou si on emploie l'acide chlorhydrique presque pur, les figures ont des contours curvilignes, phot. 2, pl. II.

Les figures sont souvent limitées latéralement par trois faces courbes et, au fond de la cavité, se trouve une face qui est souvent voisine de e^3. On voit sur la figure 5, pl. I que les faces latérales sont formées par quatre autres faces n'appartenant pas à la même forme. On peut en trouver un nombre beaucoup plus grand, et, comme on le verra plus loin, les faces à symboles compliqués peuvent être considérés comme formés par un grand nombre de faces ayant des symboles beaucoup plus simples.

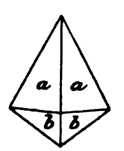


Fig. 2.

La figure 4, pl. I, montre des figures de corrosion beaucoup plus compliquées. Elles sont limitées en effet en bas par un scalénoèdre, latéralement par un autre scalénoèdre qui a le même indice ou du moins un indice voisin de celui des figures précédentes, et à la partie supérieure par un rhomboèdre direct voisin de e^3.

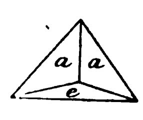


Fig. 3.

On peut encore obtenir d'autres figures avec l'acide dilué

avec de l'alcool; on obtient des figures beaucoup plus petites, mais toujours triangulaires ou quadrangulaires (*fig*. 2 et 3 : elles sont aussi limitées à la partie inférieure par la face d'un rhomboèdre qui est plus incliné sur l'axe vertical que celui qui est obtenu avec l'acide énergique ou par deux faces *bb* d'un scalénoèdre. Ce sont deux faces de scalénoèdre qui limitent la cavité sur les parois latérales. La glycérine ajoutée à l'acide influence un peu la forme des figures lorsqu'elle est en grande quantité, mais d'une manière générale le liquide ajouté à l'acide chlorhydrique est sans action sur la forme des figures.

Je ferai cependant remarquer que la forme de la figure dépend, dans certaines limites, de la forme de la cavité primitive qui est devenue une figure de corrosion On peut constater facilement le fait en faisant avec une pointe, des trous sur une face de clivage.

L'acide chlorhydrique produit des figures analogues à celles représentées figure 1, pl. I., sur les parties intactes et là où la pointe a érodé le cristal, apparaissent des cavités triangulaires beaucoup plus grandes que les autres, et ayant la forme de celles qui sont représentées figure 5, pl. II.

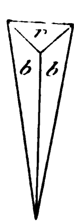
Acide formique. — Les figures de corrosion obtenues avec l'acide formique ont été l'objet d'un grand travail de von Ebner (1). Ce savant a passé en revue un grand nombre de formes qu'il a obtenues sur une face de clivage, examinée au microscope. De ses recherches il a conclu que le rhomboèdre e^1 était le rhomboèdre de dissolution de la calcite.

La dissolution ne se fait pas toujours suivant cette face, mais d'après des formes dérivant directement de cette dernière. Von Ebner a décrit et figuré plusieurs formes de

(1) *Loc. cit.*

figures de corrosion. Je ne vais pas les décrire de nouveau ici. Je ferai seulement remarquer qu'elles sont identiques à celles qui se forment dans la dolomie traitée par l'acide chlorhydrique sur les plans inclinés vers le sommet du rhomboèdre et qu'elles correspondent à des figures en relief.

L'acide formique donne des figures de corrosion différentes, suivant qu'il est employé à la température ordinaire



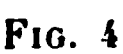


Fig. 4.

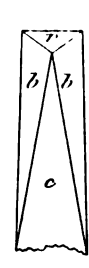


Fig. 5.

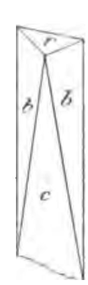


Fig. 6.

ou bouillant. Les premières ont la forme représentée par les figures 4, 5, 6, elles sont identiques, comme forme, à celle des autres carbonates rhomboédriques attaqués avec l'acide chlorhydrique chaud. La cavité est limitée en haut par une face de rhomboèdre inverse *r* et latéralement par celle d'un scalénoèdre *bb*. En bas elles offrent un rhomboèdre direct incliné sur *p*. Fréquemment, lorsque l'action de l'acide se prolonge, les faces deviennent rugueuses. Ces figures sont intéressantes par leurs modifications successives. Elles sont d'abord trapézoédriques, presque carrées et sont limitées vers le sommet et en bas par un rhomboèdre, latéralement par un scalénoèdre. Ces formes sont très peu inclinées sur la face *p*. A mesure que l'acide agit, la cavité se creuse et s'allonge seulement du côté opposé au sommet,

par suite du développement de la face du rhomboèdre direct. Comme conséquence, le rhomboèdre *r* devient très incliné sur *p*, alors que la face *c* l'est très peu. En suivant l'action de l'acide sous le microscope, on peut s'assurer que les modifications sont continues. Quelquefois le rhomboèdre direct *c* fait défaut.

L'acide formique chaud donne des résultats un peu différents. La face du rhomboèdre inverse *r* est remplacée par deux faces d'un scalénoèdre, comme l'indiquent les figures 7, 8 et la photographie 7, planche II. Lorsque l'action de l'acide

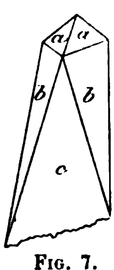


Fig. 7.

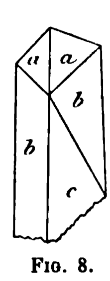


Fig. 8.

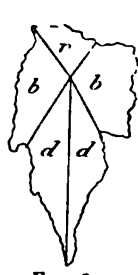


Fig. 9.

se prolonge, les deux faces du scalénoèdre s'arrondissent et sont remplacées par une surface ayant la forme ovale.

Les figures de corrosion obtenues avec l'acide formique bouillant sont très allongées, suivant la petite diagonale de la face du rhomboèdre. Elles sont souvent asymétriques, comme le montrent les figures 5, 6 et la phothographie 7, pl. II. L'arête sépare les deux faces du scalénoèdre et fait avec la petite diagonale un angle qui varie de 0° à 7°, mais qui peut être quelquefois plus grand. Sur la même préparation (*fig.* 7, pl. II), toutes les arêtes sont parallèles entre elles. Je reviendrai sur les figures asymétriques pour les comparer avec celles des autres carbonates rhomboédriques et celles qui sont obtenues avec de l'acide acétique et l'acide iodhydrique.

Acide acétique. — Comme pour l'acide formique, les

figures de corrosion sont différentes, suivant que l'on opère à chaud ou à froid. O. Meyer (1) a décrit et figuré une des formes de ces dernières. Elles sont composées (*fig*. 9, 10 et *phot*. 6, pl. II), en haut, par une face de rhomboèdre inverse, et, latéralement, par celles des deux scalénoèdres *bb* et *dd*.

La photographie 6, planche II, montre, en outre, des figures nettement asymétriques limitées à gauche par deux

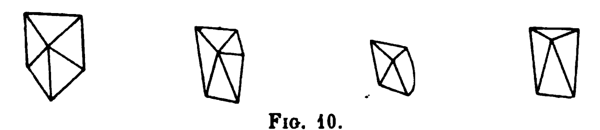


Fig. 10.

faces d'un scalénoèdre, et, à droite, par une face seulement; en outre, les faces *dd* ne se coupent pas sur la ligne médiane (*fig*. 10). L'angle que fait l'arête avec la petite diagonale est variable, mais à peu près le même pour la même préparation. Je reviendrai plus loin sur ces figures.

La figure 11 et la fig. 2, Pl. I, montrent des figures obtenues avec l'acide acétique, différentes des précédentes, et cependant produites dans les mêmes conditions; seulement la face

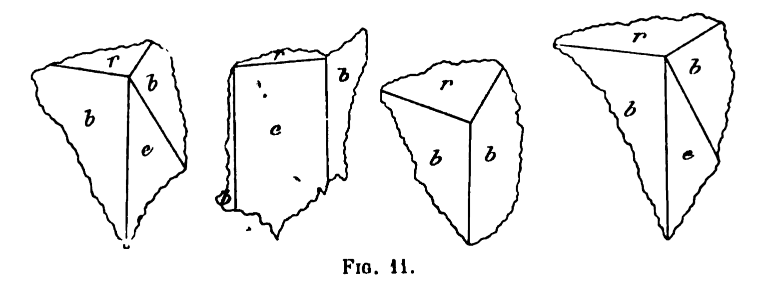


Fig. 11.

dant produites dans les mêmes conditions; seulement la face de clivage avait été, au préalable, piquée avec la pointe d'une aiguille, les parois du trou ainsi produit se sont transfor-

(1) O. Meyer, *loc. cit.*

mées sous l'influence de l'acide acétique. Ces figures de corrosion sont limitées par un rhomboèdre, un scalénoèdre. et, en bas, par un rhomboèdre direct très peu développé. On obtient souvent des figures semblables avec des faces de clivage n'ayant subi aucune modification ; mais il est alors probable que ces faces présentent des érosions, beaucoup plus grandes que celles qui donnent naissance aux figures de corrosion décrites en premier lieu.

L'acide acétique bouillant donne des figures différentes ; elles sont très allongées suivant la petite diagonale du rhombe et sont limitées en haut et en bas par les rhomboèdres *r*, *e*, qui sont souvent également développés et latéralement par une ou deux faces de scalénoèdre (*fig.* 10). Sou-

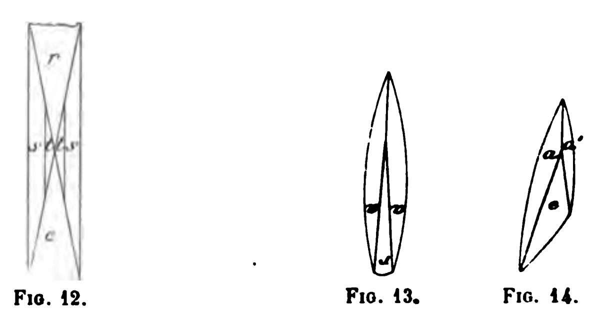


Fig. 12. Fig. 13. Fig. 14.

vent la face du rhomboèdre *r* placée du côté du sommet prend un grand développement aux dépens des autres faces et le rhomboèdre *e* de la partie inférieure manque.

Acide iodhydrique. — Avec d'autres acides, on obtient des formes différentes, je veux seulement appeler l'attention sur celles que j'ai obtenues avec l'acide iodhydrique dilué. Comme dans une expérience, j'ai obtenu des figures de corrosion irrégulières avec cet acide mélangé avec du nitrate de baryte, j'avais d'abord pensé que ce dernier corps

avait une certaine influence sur la forme des figures; mais il n'en est probablement rien. Les figures régulières sont formées par les faces d'un scalénoèdre *aa* et sont limitées en bas par celles d'un rhomboèdre *r* (*fig.* 13). Dans plusieurs expériences, j'ai obtenu des figures irrégulières (*fig.* 14), dans lesquelles une des faces *a'* du scalénoèdre manque ou n'appartient pas à la même forme. Ces figures sont très petites et, lorsque l'action de l'acide est continuée, elles deviennent régulières.

D'après les quelques résultats indiqués dans les pages précédentes, on voit que les figures de corrosion varient avec la nature de l'acide, et que, pour celui-ci, il existe encore des différences très grandes dépendant de la température, et surtout du degré de dilution de l'acide. D'une manière générale les figures ont des formes d'autant plus nombreuses que l'acide est plus faible. En outre elles sont influencées par la forme des cavités existant à la surface du cristal.

Dolomie.

Von Kobell (1), Haushofer (2), Tschermak (3), Becke (4), Baumhauer (5) ont observé l'asymétrie des figures de corrosion de la dolomie. Tschermak a considéré ce minéral comme tétartoèdre. Quelques cristaux de dolomie montrent cette tétartoédrie (6); aussi la symétrie de ce minéral paraît définitivement établie. En étudiant la dolomie de

(1) Von Kobell, *loc. cit.*
(2) Haushofer, *loc. cit.*, p. 41, *fig.* 32.
(3) G. Tschermak, *Tsch. Mitth.*, 2e série, t. IV, p. 99; 1881.
(4) F. Becke, *Tsch. Mitth.*, 2e série, t. XI, p. 224; 1890.
(5) H. Baumhauer, *Die Resultate der Aetzmethode*, Leipzig, p. 60; 1891.
(6) Des Cloizeaux, *Traité de Min.*, t. II, et plusieurs autres auteurs.

de Binn, de Traversella, j'ai obtenu des figures de corrosion régulières, comme le montre la photographie 8, pl. II; par conséquent la dolomie ne diffère donc pas des autres carbonates rhomboédriques, qui montrent, sur la même préparation, des figures monosymétriques et asymétriques. Alors même que la lame de clivage étudiée est très mince, qu'elle a environ un quart de millimètre d'épaisseur, on peut trouver, d'un côté, des figures monosymétriques et, sur la face opposée, les figures asymétriques (*fig.* 15), qui ont été décrites par Tschermak.

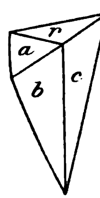


Fig. 15.

Sur beaucoup de lames de clivage, on peut trouver un mélange de figures asymétriques et monosymétriques, ces dernières étant cependant en quantité beaucoup moindre. Souvent elles ne sont pas mélangées, et chaque plage n'offre que des figures de la même sorte.

Ankérite.

Les cristaux d'ankérite d'Allevard m'ont toujours fourni des figures asymétriques, comme l'indiquent la photographie 9. pl. II, et fig. 15. Sur les faces de clivage interrompues, se montrent des sommets de scalénoèdre ou d'isoscéloèdre en relief, parfaitement réguliers. Si l'on ne considérait que ces figures en relief, obtenues aussi avec l'acide chlorhydrique, on serait conduit à admettre que l'ankérite est rhomboédrique. Ces figures sont identiques à celles qui ont été décrites par von Ebner sur la calcite.

Tous les cristaux d'ankérite que j'ai étudiés avaient les faces légèrement courbes.

La photographie 10, pl. II, montre une lame de clivage de ce même échantillon attaqué par l'acide formique. Les figures

sont identiques à celles qui sont figurées par M. Baumhauer, (Pl. V, fig. 17). Elles sont symétriques par rapport au plan de macle.

La mésitine et les autres carbonates rhomboédriques ne m'ont fourni rien de nouveau ; j'ai trouvé des figures identiques à celles qu'a décrites M. Tschermak.

FIGURES DE CORROSION IRRÉGULIÈRES. SYMÉTRIE DES CARBONATES RHOMBOÉDRIQUES.

M. Haushofer (1) a indiqué des figures monosymétriques sur la face a^1 de la calcite. M. Baumhauer (2) a aussi décrit des formes irrégulières sur la même face, et M. Becke (3) en a obtenu d'asymétriques sur les faces de clivage. Ce dernier auteur les considère comme anomales.

Les figures asymétriques, obtenues sur la face du rhomboèdre de clivage, et représentées par les figures 17, 8, 10, et photog. 5 et 7, pl. VI, indiquent une symétrie identique à celle de la dolomie. Celles qui sont obtenues avec l'acide acétique, surtout celles qui sont figurées pl. II, *fig*. 7, sont semblables aux figures dessinées par Haushofer sur le rhomboèdre de clivage de la dolomie et préparées avec l'acide azotique (*fig*. 32). En outre, la photog. 6, pl. II, montre que la dolomie donne, elle aussi, des figures monosymétriques comme la calcite. Le même échantillon montre les deux sortes de figures. D'après les observations de Tschermak, tous les carbonates rhomboédriques, excepté la calcite, ont aussi les deux sortes de figures. Les dolomies ferrifères, malgré les nombreuses observations que j'ai faites, m'ont toujours fourni des figures

(1) K. HAUSHOFER, *loc. cit.*
(2) BAUMHAUER, *Pogg. Ann.*, t. CXL, p. 271.
(3) BECKE, *Tschermak Mitth.*, t. XI, p. 347.

asymétriques, et, lorsqu'une macle existe, les figures d'
des individus sont l'image de celles de l'autre. Pour la c
cite, j'ai produit de nombreuses macles par le procédé
M. Baumhauer, et j'ai ensuite attaqué les échantillons p
l'acide acétique et l'acide formique. J'ai observé dans quel
cas des figures asymétriques et, contrairement à ce que l'
pourrait supposer, celles de la partie qui a pris une nouv
position, dans les quelques cas assez rares, il est vrai, où j'ai
les observer, ne sont pas symétriques des premières; la d-
formation des figures, si l'on peut s'exprimer ainsi, se f
dans le même sens. Par conséquent, la cause de cette asym-
trie paraît ici, plutôt due à l'état de la surface qu'à la stru-
ture du réseau du cristal.

Dans la production artificielle de la macle de la calcit
suivan b^1, les molécules se comportent comme si elles osci-
laient de 11° en partant de leur position première pour ve
prendre une position symétrique, et les irrégularités des figur
devraient se reproduire symétriquement. Un examen a-
profondi de la surface des lames de clivage donnant d
figures asymétriques m'a montré que cette dernière éta
légèrement courbe et ne correspondait par conséquent pas
une face théorique de clivage. On ne trouve jamais des fi-
gures anomales sur des surfaces de clivage rigoureusem
planes. Pour la dolomie les résultats sont les mêmes.

Quant à l'ankérite d'Allevard, dont les figures sont net-
ment et régulièrement asymétriques, les cristaux ont d
plans de clivage légèrement courbes. La courbure est v-
sible sur les cristaux et en particulier sur celui qui a fourn
la lame de clivage, dont les figures sont représentées par l
photog. 10, pl. II.

On voit donc que l'asymétrie des figures de corros
paraît être ici en relation avec l'état de la surface de l
lame cristalline. Une surface rigoureusement plane donne

des figures symétriques, et une surface courbe des figures asymétriques. J'ai en outre décrit des figures asymétriques produites sur des creux produits artificiellement avec une pointe (*fig.* 11).

Quelle est la cause de l'asymétrie des figures de corrosion des carbonates rhomboédriques ? M. Becke (1) admet que les figures asymétriques de la calcite sont une anomalie, et il admet en se basant sur la structure qu'il attribue à la molécule, que les carbonates rhomboédriques contenant deux métaux peuvent seuls être tétartoèdres. Un autre exemple est fourni par le fer titané qui est tétartoèdre, alors que le fer oligiste ne l'est pas.

Mais, si la calcite donne des figures régulières lorsque la face de clivage est parfaite, il en est de même de la dolomie, et, par conséquent, il n'y a pas lieu de séparer les deux substances. La dolomie ferrifère et celle en particulier qui contient plus de 20 0/0 de fer et de manganèse, donne régulièrement des figures asymétriques, et cependant la tétartoédrie ne peut pas être interprétée comme celle de la dolomie. Ce ne sont pas deux métaux qui produiraient la tétartoédrie, mais bien trois ou quatre, si on emploie le raisonnement de M. Becke.

Les observations que je viens de décrire conduisent à admettre que la calcite ne doit pas être séparée de la dolomie ; elle présente, comme elle, des figures de corrosion asymétriques ayant absolument la même forme, et les autres carbonates rhomboédriques ont souvent des figures symétriques lorsque les faces sont rigoureusement planes. Si les figures monosymétriques existent presque toujours dans la calcite, alors que, dans les autres carbonates, elles sont plus

(1) BECKE, Ueber Dolomit und Magnesit und über die Ursache der Tetartoëdrie des des ersteren. *Tschermak Mittheil.*, 2ᵉ série, t. XI, p. 224 ; 1889.

rares, il faut tenir compte de ce que les cristaux sont de beaucoup plus parfaits. Cependant les figures asymétriques ayant la même orientation dans les dolomies très ferrifères (ankérites), la cause produisant la forme des figures, réside dans la structure du cristal influençant directement l'état de la surface, aussi, selon toute probabilité, les dolomies ferrifères possèdent la tétartoédre rhomboédrique comme l'a montré M. Tschermak qui en a donné de nombreuses preuves. Mais il n'y a pas lieu de séparer les autres carbonates puisqu'ils présentent les mêmes figures quand ils ont les mêmes caractères d'imperfection de la surface.

INÉGALITÉ D'ATTAQUE PAR LES ACIDES DES DIFFÉRENTES FACES.

Lavizzari (1) a étudié le premier le dégagement d'acide carbonique par les différentes faces attaquées par l'acide azotique.

Il est arrivé aux résultats suivants :

	a^1	e^2 artificiel	p
Quantités relatives des gaz dégagés dans le même temps.	1	7	6
	5	17	15 2/8
	10	23 3/4	21 4/8
	15	30	27
	20	35	32

M. A. Hamberg (2) a répété les expériences de Lavizzari, mais en employant l'acide chlorhydrique à différents degrés de concentration. Il a trouvé que les pertes de poids évaluées en milligrammes étaient, par minute et par millimètre

(1) *Loc. cit.*
(2) *Loc. cit.*

carré, les suivantes :

Faces	Concentration	Perte de poids
p $(10\bar{1}\bar{1})$.............	15 0/0	0,10
e^3 $(20\bar{2}1)$.............	15	0,40
p....................	0,25	0,0016
e^3....................	0,25	0,0019

Lorsque le liquide contient 15 0/0 d'acide chlorhydrique, l'attaque est quatre fois plus grande sur p que sur e^3, alors qu'elle est à peu près la même si l'acide est dilué. W. Spring(1) a évalué la quantité d'acide carbonique, se dégageant sous l'influence de l'acide chlorhydrique, sur la base a^1, sur la face du prisme hexagonal, sur la face du rhomboèdre p, et les résultats qu'il a obtenus ont conduit M. Cesàro à admettre que le phénomène peut être représenté par un ellipsoïde, qui a les mêmes axes que l'ellipsoïde optique. La quantité d'acide carbonique obtenue pour un plan quelconque de la zone pa^1 est donnée par la formule :

$$v = \sqrt{a^2 \sin^2 \varphi + c^2 \cos^2 \varphi}$$

v désigne la vitesse d'attaque sur la face considérée, a et c, les vitesses sur les faces parallèlle et perpendiculaire à l'axe, φ est l'angle que fait la face avec l'axe vertical.

Voici quelques-uns des résultats qu'il a obtenus avec de l'acide à 10 0/0 et à 15°.

Quantité de CO^2 dégagé	Plan d'attaque parall. à l'axe $v = a$	Plan d'attaque parall. au clivage	Plan d'attaque perpend. à l'axe
25	0,112	0,115	0,128
50	0,103	0,106	9,117
100	0,087	0,091	0,100

(1) W. Spring, Sur la vitesse de réaction du spath d'Islande avec quelques acides. *Bull. acad. de Belgique*, 3e série, t. XIV, p. 725; 1887.

(2) Cesàro. *Ann. de Chim. et de Phys*; t. XVII; 1889.

Tous les résultats obtenus par les auteurs sont assez discordants. Dès qu'une face est sous l'influence d'un acide, elle est remplacée, dans les cas où elle n'est pas stable, dans le liquide destructeur, par un très grand nombre de cavités limitées par d'autres faces, de telle sorte que la surface d'attaque est de beaucoup augmentée. Ainsi M. A. Hamberg a trouvé un dégagement quatre fois plus grand, avec de l'acide chlorhydrique à 15 0/0, sur la face p que sur la face e^5. Ceci n'a rien d'étonnant; e^5, qui est voisin de e^3, est stable dans l'acide chlorhydrique servant aux expériences, d'après les résultats de M. Hamberg, et d'après ceux que fournit l'examen des figures de corrosion, par conséquent, il se dissout régulièrement dans l'acide chlorhydrique sans augmenter de surface; au contraire, la face p disparaît aussitôt qu'elle est plongée dans l'acide; elle est remplacée par des cavités, et la quantité d'acide carbonique est ainsi augmentée. Quant à l'égalité qui existe lorsqu'on emploie de l'acide à 0,15 0/0, elle est due à ce que les figures de corrosion produites sur p sont, dans ces conditions, très peu profondes et qu'il se forme aussi sur e^5 des figures de corrosion, cette dernière face n'étant peut-être pas stable dans l'acide chlorhydrique dilué.

Pour que les résultats soient comparables, il faut étudier le dégagement d'acide carbonique sur deux faces stables dans le liquide. J'ai fait des mesures avec les rhomboèdres e et b^1, dont les faces restent planes dans l'acide chlorhydrique et les arêtes vives. Le procédé employé est celui de A. Hamberg, consistant à peser l'échantillon étudié avant et après l'expérience. La perte de poids et la surface considérée étant connues, on peut comparer la solubilité des deux faces. La méthode n'est évidemment pas précise; mais les causes d'erreur dues aux irrégularités de la surface produites par le dégagement d'acide carbonique sont plus grandes que les

erreurs expérimentales. J'ai trouvé que la partie de poids par unité de surface était presque la même, les deux échantillons étant plongés et retirés ensemble du même vase contenant l'acide chlorhydrique. Plusieurs expériences ont été faites, et ce n'était toujours pas la même forme donnant le plus d'acide carbonique. J'espère pouvoir arriver à faire des mesures plus précises pour les formes stables dans l'acide servant aux expériences.

Becke a émis l'hypothèse que c'étaient les faces limitant les figures de corrosion, qui offraient le plus de résistance à la dissolution. Von Ebner croit, au contraire, qu'elles sont des plans suivant lesquels l'attaque est la plus grande. L'examen d'une lame de clivage de calcite, soumise à l'influence d'un acide faible, montre que l'attaque n'est pas régulière, qu'il y a des figures de corrosion en certains points, alors que la plage voisine est intacte, les photographies (Pl. II, *fig.* 3, 7 et 9), montrent bien le fait. Le quartz offre aussi un autre exemple peut-être encore plus net. Les faces e^2 restent brillantes beaucoup plus longtemps que les autres, dans l'acide fluorhydrique. Von Ebner a aussi admis que, si une surface était parfaite, si elle représentait en somme un plan réticulaire, elle persisterait indéfiniment dans le dissolvant, si elle n'est pas une face de dissolution; mais une face présente toujours des interruptions, et c'est par les points où la face présente des solutions de continuité que l'attaque commence. La partie du cristal qui tourne dans la production artificielle de la macle de la calcite suivant b^1, s'attaque beaucoup plus facilement que le reste du cristal, comme l'a déjà indiqué Baumhauer et comme le montre la photographie 3, planche I. En outre, on voit que le nombre de points attaqués est beaucoup plus considérable, les figures de corrosion se touchent, se gênent mutuellement et ne prennent

pas, par conséquent, un développement aussi grand que sur le reste de la face. Sur une face de clivage de la calcite, les figures de corrosion sont d'autant plus grandes que l'acide est plus énergique, et leur répartition est à peu près régulière. Cette régularité amène à penser que le point primitif d'attaque n'est pas ici une solution de continuité de la surface et que l'acide peut, par conséquent, attaquer la face cristalline. Cette dernière résisterait donc aux acides faibles et serait attaquée par les acides forts. On pourrait comparer la surface du cristal à la surface libre d'un liquide. Par suite de la tension superficielle, la lame externe du liquide peut supporter des corps légers qui ne sont pas mouillés par elle; mais il y a une limite au-delà de laquelle la lame est rompue. Il en serait de même pour les faces des cristaux. L'acide agissant sur toute l'étendue de la face devrait attaquer cette dernière sur tous les points à la fois et ne pas donner des figures de corrosion, les couches étant enlevées parallèlement; mais, par suite de l'action qui existe entre le cristal et le liquide, le phénomène est tout autre, et il se produit des faces qui sont identiques, au point de vue physique, à celles qui se forment lorsque le cristal s'accroît.

Les faces limitant les cristaux ou les cavités des figures de corrosion sont dépendantes les unes des autres. L'existence de l'une d'elles entraîne celle des autres adjacentes, on peut considérer les arêtes au lieu des faces. Ainsi, dans les figures produites par l'acide acétique, l'existence de b^m entraînant celle de d^n, on peut considérer seulement l'arête $b^m d^n$. La forme b^1 persiste dans l'acide chlorhydrique : mais l'arête $b^1 p$ n'est pas stable; il se produit entre ces deux faces un scalénoèdre, de telle sorte que si l'on expérimente avec un cristal sur lequel b^1 est peu développé, cette face peut disparaître et, à première vue, on peut croire qu'elle

ne peut pas exister dans l'acide chlorhydrique. Quelquefois deux faces peuvent prendre un grand développement sur une figure de corrosion; mais elles sont toujours réunies par une autre face, l'angle dièdre des deux premières n'étant pas stable. C'est ce qui arrive pour l'alun, qui, lorsqu'il cristallise dans des conditions bien connues, présente des faces de l'octaèdre très développées; mais elles ne se coupent jamais, l'angle dièdre qu'elles forment étant tronqué par les faces b^1, qui atteignent presque toujours le même degré de développement, lorsque, bien entendu, le cristal obtient certaines dimensions.

J'ai déjà indiqué que la forme des figures de corrosion dépendait aussi de la forme de la cavité qui lui donnait naissance. Le cristal se limite en effet par une surface qui est en rapport avec celle qui a été produite artificiellement, et qui cependant peut exister dans le liquide; mais elle n'est pas stable, et il s'en forme de nouvelles. Le phénomène est le même que celui qui a lieu pendant l'accroissement du cristal (1).

Ce qui est remarquable dans les figures de corrosion, c'est l'oscillation des plans limitant la cavité, de telle sorte que non seulement les faces paraissent ne pas obéir à la loi des indices, mais se modifier graduellement. Cependant certaines faces montrent de très nombreuses stries, qui indiquent que la face est constituée par un grand nombre d'autres faces, aussi il est naturel que les premières fournissent pour chaque expérience des mesures différentes. Tout en n'appartenant pas à une face cristallographique, il est certain qu'elles dépendent de l'acide et aussi de la substance cristallisée. Attaquées par un autre acide elles donnent des figures de corrosion qui tendent à montrer, alors même qu'elles ne

(1) Gaubert, *Bull.*, t. XVIII; 1895.

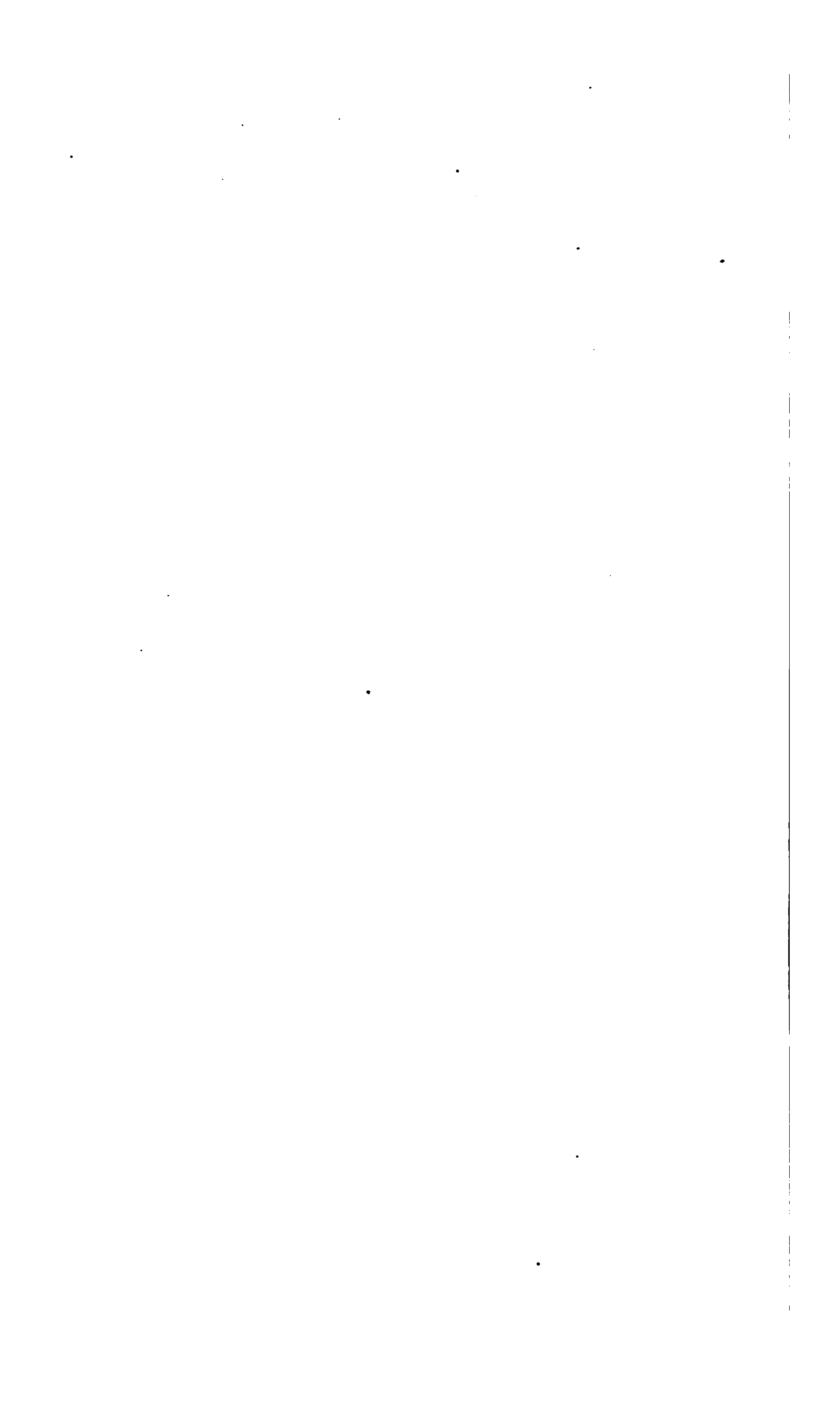
présentent pas de stries visibles, qu'elles sont formées par un très grand nombre d'autres faces. Le fait est facilement mis en évidence avec a^x, limitant les figures de corrosion produites avec l'acide chlorhydrique, attaqué par l'acide formique.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.



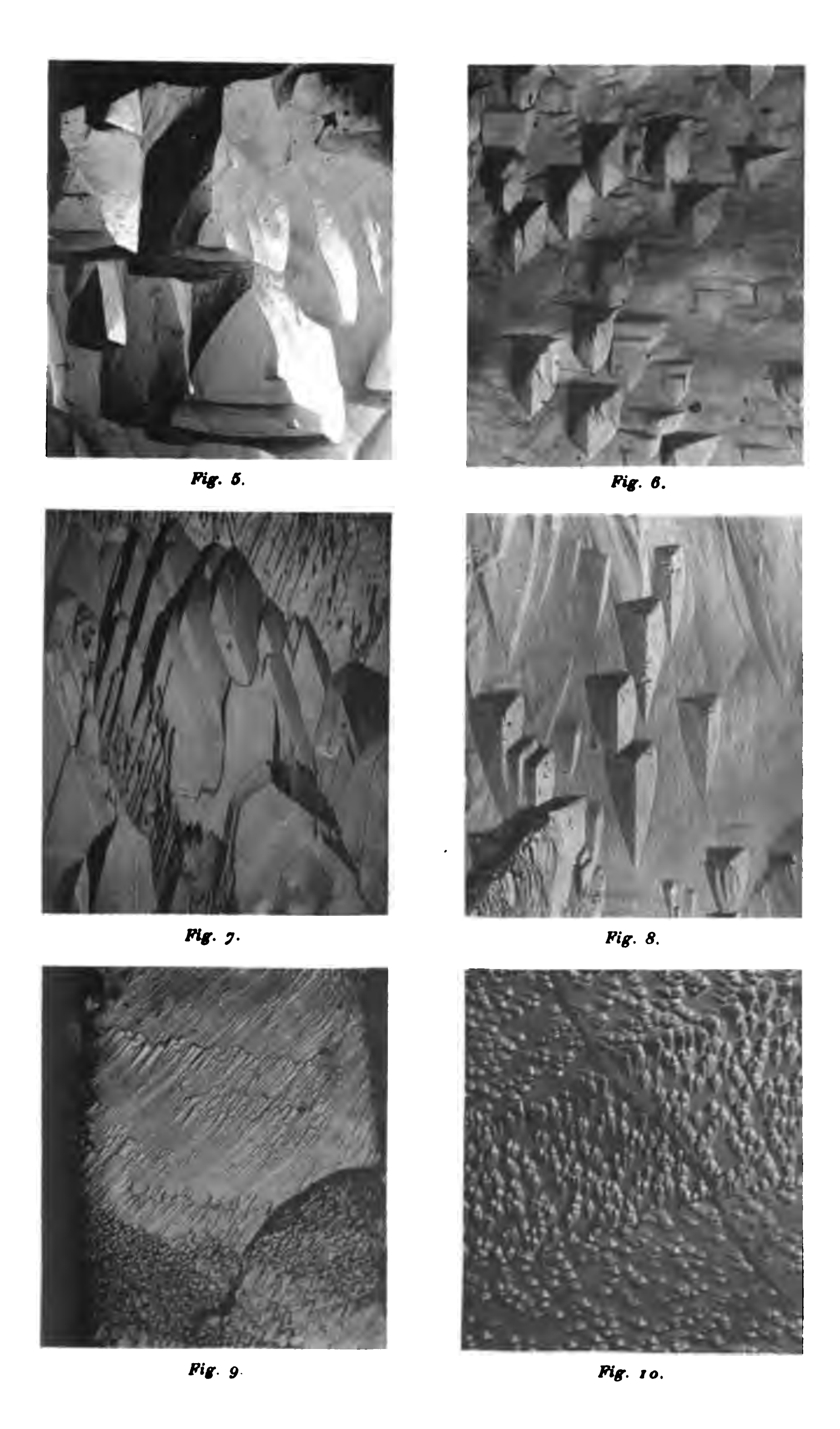


Fig. 5.

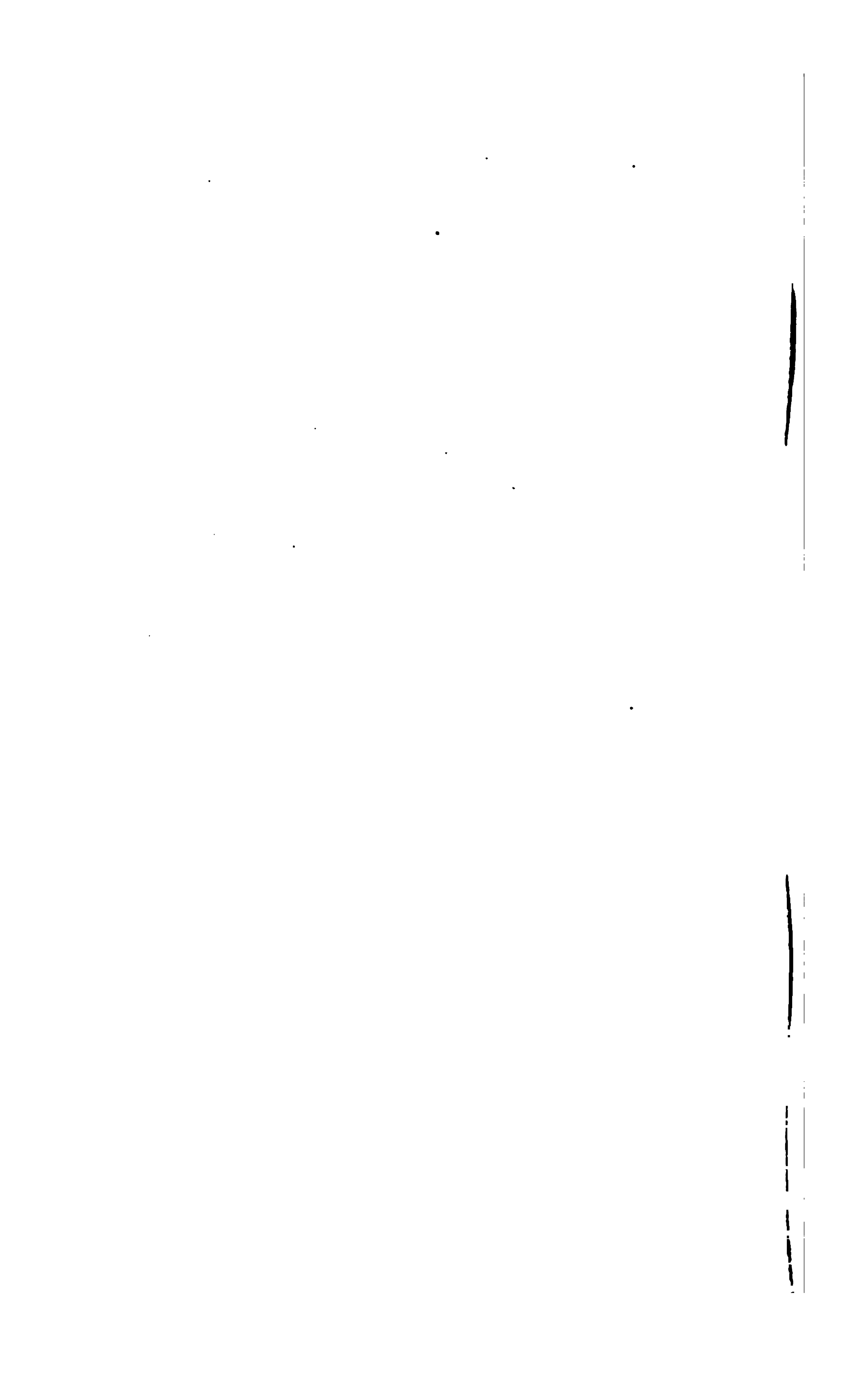
Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.



EXPLICATION DES PLANCHES.

Fig. 1. — Photographie montrant la corrosion d'une lame de clivage de calcite par l'acide chlorhydrique à 20 0/0. Les faces a^1 présentent des stries concentriques. On voit aussi que le défaut de parallélisme des arêtes se reproduit dans le même sens. Gr. 45 d.

Fig. 2. — Figures obtenues avec l'acide acétique. Gr. 45 d.

Fig. 3. — Face de clivage montrant la macle de Baumhauer (partie médiane) et des figures de corrosion obtenues avec l'acide acétique. Gr. 45 d.

Fig. 4. — Figures de corrosion obtenues avec l'acide chlorhydrique dilué. Gr. 45 d.

Fig. 5. — Figures à contours curvilignes produites par l'acide chlorhydrique concentré. Gr. 15 d.

Fig. 6. — Figures obtenues par l'acide acétique à froid. Adroite et en haut se trouve une figure irrégulière semblable à celles de la dolomie ; en bas, il y en a une autre de semblable, mais coupée. Gr. 85 d.

Fig. 7. — Figures asymétriques obtenues avec l'acide formique à chaud. Gr. 20. d.

Fig. 8. — Figures de corrosion de la dolomie de Binn produites par l'acide chlorhydrique. Gr. 115 d.

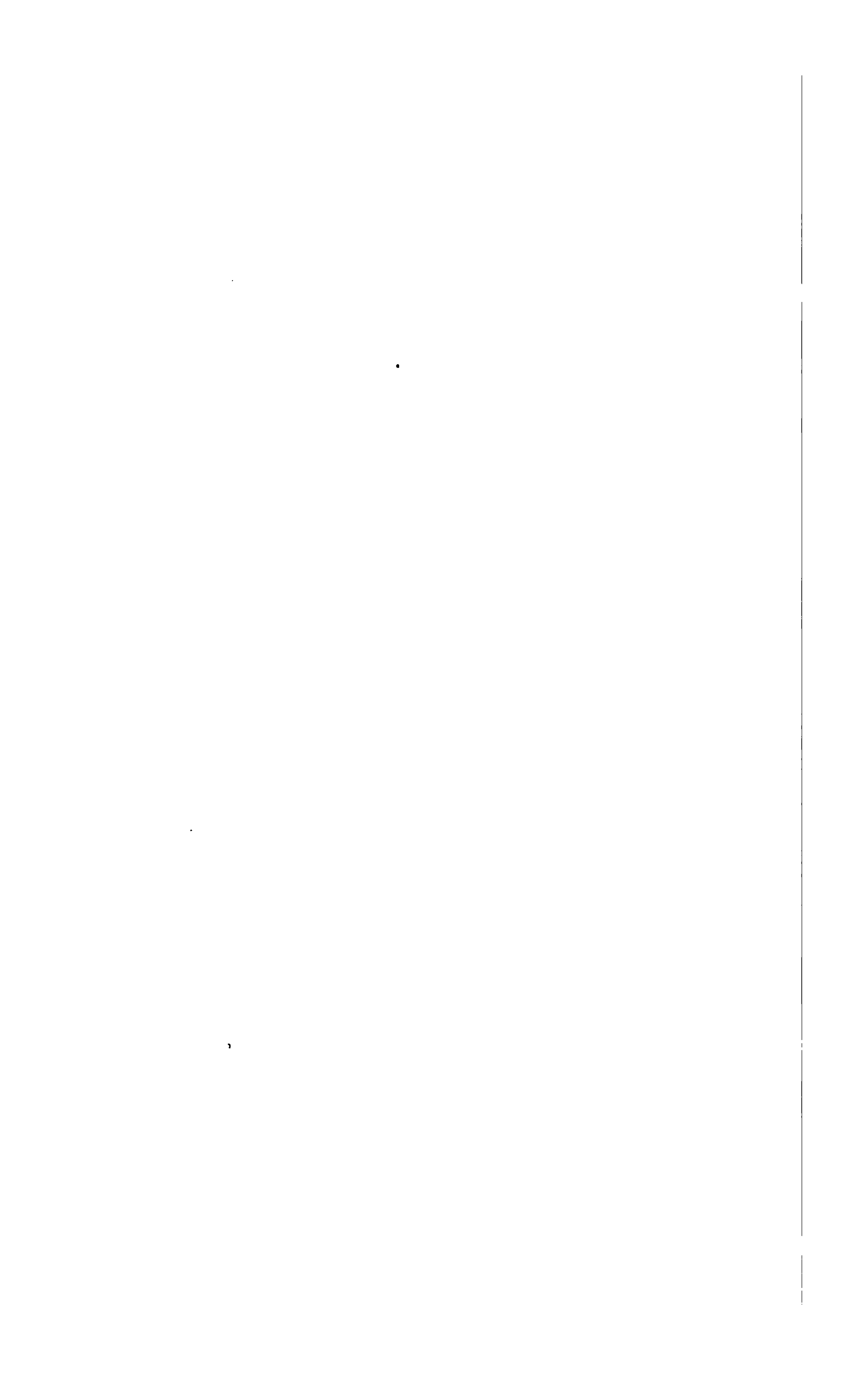
Fig. 9. — Plaque montrant des figures irrégulières d'une dolomie ferrifère et des figures monosymétriques en relief qui représentent des scalénoèdres dont on voit très bien les faces du sommet. Gr. 500 d.

Fig. 10. — Figures de corrosion de l'ankérite d'Allevard montrant l'irrégularité des figures et une macle. Gr. 115 d.

Les figures 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 sont orientées de façon que l'axe ternaire de la calcite soit vertical. Les figures 3, 9 et 10 n'ont pas cette orientation, mais celle-ci est indiquée par la forme des figures.

Le Secrétaire, gérant, PAUL GAUBERT.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1901. — BULLETIN N° 7.

Compte rendu de la séance du 13 juin 1901.

PRÉSIDENCE DE M. WYROUBOFF.

M. de SCHULTEN fait une communication sur la reproduction artificielle et les propriétés cristallographiques de la monétite, phosphate acide de chaux anhydre $HCaPO^4$.

M. LACROIX présente un cristal de cassitérite de la Villeder, remarquable par son grand allongement suivant les faces de l'octaèdre, ce qui lui donne une apparence orthorhombique.

M. WYROUBOFF fait remarquer que les cristaux de racémate de rubidium qu'il avait décrits jadis, ne sont, suivant l'observation très juste de M. Traube, qu'un mélange de tartrates gauche et droit. Ces cristaux se distinguent des tartrates cristallisés isolément par leurs anomalies optiques et l'absence du pouvoir rotatoire.

Sur le racémate de rubidium.

Par M. G. Wyrouboff.

J'ai décrit, il y a de cela une vingtaine d'années (1), un racémate de rubidium anhydre cristallisant en pseudorhomboèdres composés de trois individus plus ou moins biaxes. M. Traube (2) a fait remarquer que mon sel n'était qu'un mélange à parties égales de tartrate droit et de tartrate gauche et que le racémate de rubidium cristallisait avec 2 molécules d'eau, en gros cristaux clinorhombiques.

L'examen plus attentif de mes anciens cristaux et de cristaux récemment préparés, m'a permis de constater que l'observation de M. Traube était parfaitement exacte. Cette observation est extrêmement intéressante, car c'est la première fois qu'on arrive à dédoubler l'acide racémique au moyen d'un sel simple à base inactive. Mais les cristaux sont très remarquables à un autre point de vue encore. Ce sont des pseudorhomboèdres portant en général de minces troncatures du rhomboèdre b^1 (0112) et du prisme hexagonal e^2 (1010). Ils sont donc fort différents des cristaux des tartrates droit et gauche, qui possèdent toujours plusieurs rhomboèdres et dans lesquels les formes directe et inverse de chaque rhomboèdre sont, en général, à peu près en équilibre.

Lorsqu'on taille une lame perpendiculairement à l'axe ternaire de ces pseudorhomboèdres, on constate qu'ils sont tous *sans exception* composés de trois individus plus ou moins biaxes (*fig.* 1).

M. Traube a décrit des cristaux présentant un assemblage

(1) *Bull. Soc. Min.*, VI, p. 58; 1883.
(2) *N. Jahrb. f. Miner.*, Bl. Bd. p. 795; 1895.

d'un individu droit et d'un individu gauche et donnant en lumière convergente des spirales de Airy. Cette observation n'est pas exacte, car les cristaux, même dans les plages à peu près uniaxes, *n'ont point de pouvoir rotatoire*. Les courbes irrégulières simulant plus ou moins des spirales

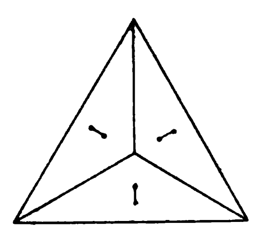


Fig. 1.

qu'on aperçoit dans les individus un peu épais et aux faibles grossissements, tiennent à la superposition des trois images à 120°; dans les lames plus minces et aux forts grossissements, qui permettent de pointer chacune de leurs plages, ces irrégularités disparaissaient, et l'on aperçoit très nettement les trois systèmes d'axes. J'ai montré que le tartrate droit ou gauche de rubidium, cristallisant isolément, ne présente que rarement de très légères anomalies, et qu'il est doué du pouvoir rotatoire parfaitement régulier. Le mélange des sels des deux acides de rotation inverse se comporte donc comme un mélange isomorphe; on sait, en effet, que, dans de semblables mélanges, les corps pseudosymétriques présentent toujours des anomalies. Mais isomorphisme signifie ressemblance, non identité; il faut conclure de là que les deux tartrates inverses ne sont pas *physiquement* identiques, comme on l'admet généralement.

Le véritable racémate rubidique $C^4H^4O^6Rb^2,2H^2O$ s'obtient facilement lorsqu'on cristallise à une température infé-

rieure à 20° en gros cristaux tabulaires. La forme de ces cristaux convenablement orientés rappelle beaucoup celle du racémate potassique à $2H^2O$. On ne saurait cependant considérer ces deux formes comme isomorphes, car si la concordance dans la zone h^1g^1 (100 010) est satisfaisante et les angles ph^1 (001 100) très voisins, les différences des angles dans les zones pg^1 (001 010) et ph^1 (001 100) dépassent de beaucoup les écarts que l'isomorphisme tolère, comme on le verra dans le tableau ci-dessous.

J'ai conservé pour le sel de potassium l'orientation choisie par Des Cloizeaux et reproduite dans l'ouvrage de Rammelsberg, ce qui donne pour les faces observées du sel rubidique les symboles : p (001) h^1 (100) $o^{1/2}$ (201) $a^{1/2}$ ($20\bar{1}$) $e^{1/2}$ (021) et x (241). Clivages faciles g^2 (010) et $a^{1/2}$ ($20\bar{1}$) — le sel potassique ne possède pas de clivage.

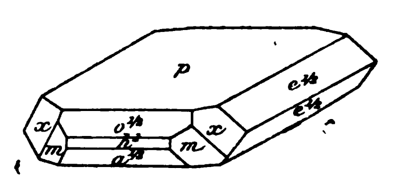


Fig. 2.

0.9024 : 1 : 0.6323 ; $\gamma = 91°42'$
0.8866 : 1 : 0.7521 ; $\gamma = 91°28$ sel potassique

Angles	Calculés	Mesurés	Sel potassique Calc. Dx.
ph^1 (001 100)	—	*91°42	92°28′
$h^1o^{1/2}$ (100 201)	—	*145°4′	150°8′
$h^1a^{1/2}$ (100 $\bar{2}$01)	143°56′	143°50′	148°51′
mh^1 (110 100)	—	*137°57′	138°30′
mm (1$\bar{1}$0 110)	95°34′	—	96°56′
$e^{1/2}p$ (021 001)	128°21′	128°16′	123°38′
$a^{1/2}e^{1/2}$ ($\bar{2}$01 021)	110°30′	—	105°23′

Angles	Calculés	Mesurés	Sel potassique Calc. Dx.
$e^{1/2}h^1$ (021 100)	91°3′	—	91°22′
$a^{1/2}m$ ($\bar{2}01$ $\bar{1}10$)	126°53	126°50′	—
xx ($2\bar{4}1$ 241)	69°15	69°13′	—
xh^1 (241 100)	117°46	117°44′	—

Le plan des axes optiques est parallèle au plan de symétrie. La bissectrice aiguë négative fait, avec l'axe vertical dans l'angle aigu γ, un angle de 82°, 18′ 2 V = 56°, 6 ; $\beta = 1.488$.

Dispersion très faible $\rho > \nu$.

Sur les tellurures d'or et d'argent de la région de Kalgoorlie (Australie occidentale).

PAR M. AD. CARNOT.

On a beaucoup remarqué, à l'Exposition universelle de 1900, les riches minerais d'or et, en particulier, les magnifiques spécimens de tellurures, que la Commission de l'Australie occidentale a présentés dans son pavillon du Trocadéro.

Ces minerais tellurés ont été fournis principalement par les champs d'or (*Gold fields*) de Coolgardie-Est ou *Kalgoorlie*, situés dans le district de l'Est de l'Australie occidentale.

M. Holroyd, représentant de la Commission, a eu l'obligeance de m'offrir, pour le musée de l'École supérieure des Mines, quelques échantillons de ces tellurures, en me priant de lui en donner une analyse détaillée. Je m'y suis prêté avec plaisir, d'autant plus que je n'avais eu jusqu'ici aucune occasion d'analyser de semblables minerais.

Le district aurifère de Kalgoorlie a été découvert en 1893; mais on n'a reconnu tout d'abord que des placers superficiels. Plus tard, on a trouvé les tellurures et c'est surtout en 1899 que les mines ont pris un grand développement. Elles ont été décrites dans deux Mémoires publiés dans les *Annales des Mines* en 1899 (1) et 1901 (2).

Les minerais tellurés paraissent former des filons presque verticaux, à remplissage quartzeux, d'orientation nord-ouest, dans une bande de terrain large de 250 mètres à 300 mètres. Ces veines sont interstratifiées dans des amphibolites schisteuses, auxquelles, dans le pays, on donne communément le nom de *diorites*. Les minerais sont très altérés dans les niveaux supérieurs et le métal précieux s'y trouve, en général, à l'état d'or libre, tandis que, lorsqu'on descend jusqu'au niveau hydrostatique, les épontes sont plus nettes et les métaux sont à l'état de tellurures non décomposés.

Ce sont ces tellurures qui constituent la collection offerte par M. Holroyd. Ils m'ont été remis dans six petits tubes de verre, numérotés de 1 à 6. Les fragments contenus dans le tube n° 1 viennent de la mine *Lake View Consols;* les autres sont tous marqués comme extraits de la mine *Great Boulder Proprietary;* mines qui sont, l'une et l'autre, situées dans le voisinage de la ville de Kalgoorlie.

J'ignore si les fragments réunis sous un même numéro proviennent d'un seul et même endroit ou de gîtes différents; mais j'ai remarqué que, dans un même tube, ils n'avaient pas tous le même aspect et la même couleur. Aussi ai-je cru devoir prendre la précaution d'analyser séparément les fragments d'apparence différente, lorsque la quantité de matière le permettait. J'ai été ainsi conduit à faire neuf analyses distinctes, dont voici les résultats :

(1) M. Gascuel, *Notes sur les champs d'or de Coolgardie.*
(2) M. Küss, *L'industrie minière de l'Australie occidentale.*

	N° 1	N° 2 (a)	N° 2 (b)	N° 3 (a)	N° 3 (b)
Te............	60,45	56,55	53,70	32,33	33,00
Au............	29,85	23,15	27,75	24,16	23,42
Ag............	9,18	16,65	13,60	41,22	41,37
Hg............	»	3,10	3,70	2,00	2,26
Cu............	0,15	0,10	0,25	0,10	0,16
Ni............	0,10	»	»	»	»
Fe............	»	traces	traces	»	»
Sb............	»	0,20	0,15	»	»
	99,73	99,75	99,15	99,81	100,21

	N° 4	N° 5	N° 6 (a)	N° 6 (b)
Te..............	60,30	51,13	31,58	41,11
Au..............	33,90	37,06	23,58	26,10
Ag..............	4,82	4,71	43,31	30,43
Hg..............	»	3,70	0,88	0,70
Cu..............	0,63	0,88	0,20	0,60
Fe..............	traces	0,90	traces	0,40
Sb..............	»	1,20	0,30	0,80
	99,65	99,58	99,85	100,24

N° 1. — Le premier lot de tellurures était fort exigu; j'ai dû procéder avec un extrême ménagement pour en conserver 1 gramme environ, destiné à servir de type. Ce tellurure se distingue de tous les autres par un clivage net et brillant et une cassure inégale dans une direction voisine; la structure est un peu fibreuse et conchoïdale dans les autres sens. Le clivage a un éclat métallique; la couleur en est blanc d'argent, tandis qu'ailleurs elle est plutôt gris d'acier.

D'après l'analyse, le rapport moléculaire du tellurure aux métaux est de 4,72 pour 2,38. La composition moléculaire

est donc exprimée très exactement par la formule :

$$(Au, Ag) Te^2.$$

Or cette formule est celle adoptée pour la *Sylvanite* d'Offenbanya. Les proportions relatives d'or et d'argent sont sensiblement les mêmes que dans le tellurure de Transylvanie, c'est-à-dire voisines de 3 : 1.

N° 2. — Les fragments du deuxième lot ne montrent que par exception des indices de clivages plans; la cassure est presque partout conchoïdale. La couleur est, suivant les morceaux, gris de fer ou gris jaune tirant sur le bronze. Cette diversité même m'a décidé à faire séparément l'analyse de deux fragments ; mais les résultats se sont trouvés peu différents, comme on peut le voir au Tableau ci-dessus.

Il y a seulement substitution entre des proportions correspondantes d'or et d'argent, d'où paraissent résulter les différences de coloration observées. Quant au rapport du tellure à l'ensemble des métaux, il reste à peu près constant (4,19 et 4,41 pour 2,85 et 2,87). La composition moléculaire répond donc à la formule:

$$(Au, Ag, Hg,)^2 Te^3.$$

Cette composition ne semble pas avoir été observée jusqu'ici dans d'autres tellurures. Les échantillons de Great Boulder constituent donc une espèce nouvelle, caractérisée par la formule d'un sesquitellurure en même temps que par la présence des troix métaux : or, argent, mercure.

Je propose de donner à cette espèce, à raison de son origine, le nom de *Coolgardite*.

N° 3. — Les fragments compris sous le n° 3 sont tous d'apparence semblable : ils ne sont pas cristallisés et n'ont

aucun clivage plan, mais des cassures largement conchoïdales. La couleur est gris d'acier foncé, passant au noir de fer après un certain temps. Le minéral se brise et se pulvérise très aisément.

L'analyse faite sur deux fragments a donné des résultats à peu près identiques. Les rapports moléculaires ont été trouvés de 2,53 et 2,58 de tellure pour 5,15 et 5,13 des trois métaux réunis (or, argent et mercure). La formule de composition est donc :

$$(Au, Ag, Hg)^2Te.$$

La *Petzite*, depuis longtemps connue, répond à la même formule, sauf que ni les analyses de Petz et de Genth sur les échantillons de Transylvanie et du Colorado, ni celles de Rickard sur ceux de l'Australie n'ont mentionné la présence du mercure.

Pittmann (1), au contraire, a indiqué (d'après une analyse de Mingaye) 10,86 pour 100 de mercure dans un échantillon venant de Kalgoorlie et a donné à ce minéral le nom de *Kalgoorlite*, en lui attribuant la formule de composition :

$$Au^2 Ag^6 Hg Te^6.$$

Mes analyses ont nettement établi la présence du mercure, mais dans une proportion beaucoup moindre. Néanmoins, pour ne pas multiplier inutilement les variétés minérales, je crois pouvoir attribuer le nom de *Kalgoorlite* au minéral que j'ai analysé.

N° 4. — Le minéral est gris légèrement jaunâtre avec quelques portions plus foncées, d'un gris noirâtre. La cas-

(1) *Records Geol. Survey New South Wales*, V, p. 203 ; 1898.

sure est conchoïdale et, en même temps, un peu inégale, mais sans clivage proprement dit. D'après l'analyse, la composition moléculaire est bien représentée par la formule :

$$(Au, Ag) Te^2,$$

qui est celle de la Sylvanite; mais la proportion d'argent est beaucoup moindre dans ces échantillons que dans ceux d'Offenbanya et de Lake Wiew Consols, tandis qu'ils contiennent, au contraire, plus d'or et un peu de cuivre. On peut assimiler ce minéral à la variété gris jaune ou jaune de bronze, sans structure cristalline, trouvée à Calaveras Co., analysée par Genth et nommée *Calavérite*, variété qui présente la même formule moléculaire : (Au, Ag) Te^2.

N° 5. — Les fragments compris sous ce numéro sont d'un gris jaunâtre, avec cassure conchoïdale, montrant comme des feuillets courbes. La composition chimique est celle d'un tellurure complexe, où l'on remarque la présence simultanée du mercure et de l'antimoine en quantités assez notables. La composition moléculaire correspond à :

$$(Au, Ag, Hg, Cu, Fe, Sb)^2 Te^3$$

ou, plus simplement,

$$(Au, Ag, Hg)^2 Te^3.$$

Elle se rapproche donc de celle du sesquitellurure que nous avons déjà rencontré sous le n° 2 et que nous avons appelé *Coolgardite;* mais l'argent y est en proportion beaucoup moindre; il y a plus d'or et de métaux divers.

N° 6. — Les échantillons du n° 6 sont d'une teinte gris noir. Ils sont beaucoup plus volumineux, en général, que

les précédents, mais ressemblent à un agrégat de petits éléments, sans faces, ni cassures conchoïdales un peu étendues. Leur éclat métalloïde et leur cassure inégale et conchoïdale en petit rappellent l'aspect de certaines anthracites.

Les deux échantillons soumis à l'essai et dont l'analyse figure au Tableau général ont fourni des résultats sensiblement différents, qui correspondent, pour l'un (*a*) à la formule $(Au, Ag)^2 Te$, pour l'autre (*b*) à la formule $(Au, Ag)^4 Te^3$.

Le premier paraît se rapporter au type de la *Kalgoorlite*. Le second semble devoir être considéré comme un mélange de variétés diverses, ce qui n'a pas lieu de surprendre pour un minéral d'aspect confus et qui ne possède aucun caractère cristallin.

L'analyse permet d'y voir un agrégat des deux variétés de tellurures, que j'ai désignées plus haut sous les noms de *Kalgoorlite* (n° 3) et de *Coolgardite* (n°ˢ 2 et 5).

En résumé, les échantillons de tellurures de l'Australie occidentale, dont j'ai donné plus haut les analyses, se rapportent aux variétés suivantes :

La *Sylvanite*, bitellurure d'or et d'argent $(Au, Ag)Te^2$, à texture cristalline (échantillon n° 1);

La *Calavérite*, bitellurure analogue au précédent, mais beaucoup moins cristallin et contenant une moindre proportion d'argent (échantillon n° 4);

La *Coolgardite* ou sesquitellurure d'or, argent et mercure

$$(Au, Ag, Hg)^2 Te^3,$$

avec proportions variables de l'or et de l'argent, qui se substituent l'un à l'autre dans une large mesure [échantillons n° 2 (*a* et *b*) et n° 5];

La *Kalgoorlite* (Au, Ag, Hg)^2 Te, où les proportions relatives des métaux sont également variables [échantillons n° 3 (*a* et *b*) et n° 6 (*a*)]. L'échantillon 6 (*b*) paraît être un agrégat des deux dernières variétés, la Kalgoorlite et la Coolgardite.

Méthode d'analyse.

Il me reste à faire connaître la manière dont j'ai procédé à l'analyse des tellurures de l'Australie occidentale.

J'ai opéré, autant que possible, sur 1 ou 2 grammes du minéral exempt de gangue.

Après pulvérisation et pesée, la matière est attaquée par l'acide azotique pur dans une capsule de porcelaine ; on chauffe jusqu'à disparition des vapeurs rutilantes, et on reprend par de l'eau faiblement acidifiée, puis on décante sur un tout petit filtre afin de retenir les parcelles extrêmement fines, qui pourraient être entraînées. On recommence ainsi trois ou quatre fois et on termine par un lavage à l'eau chaude.

On aura à s'occuper dans la suite : du résidu insoluble A et de la solution azotique B.

A. Le résidu insoluble, qui est de couleur plus ou moins noire ou bronzée, est traité dans la capsule et sur le filtre par l'acide chlorhydrique et quelques gouttes d'acide azotique ; on chauffe, puis on étend d'eau froide et on fait passer sur le petit filtre, qui retient, avec une quantité de gangue très petite ou même nulle, un peu de chlorure d'argent. Après lavage, on redissout le chlorure d'argent par un peu d'eau ammoniacale et on le précipite de nouveau, en acidifiant par l'acide azotique, pour le joindre à la partie principale de l'argent venant de la solution B.

La liqueur chlorhydrique jaune contient la totalité de l'or,

une petite portion du tellure et quelquefois un peu d'antimoine. On élimine entièrement l'acide azotique par évaporation lente avec un excès d'acide chlorhydrique et un peu de sel ammoniac; dans la liqueur un peu diluée, mais encore très acide et chauffée vers 60°, on ajoute de l'acide oxalique, pour réduire seulement le sel d'or. Le dépôt s'effectue et la liqueur se décolore; on termine à la température d'ébullition, puis on reçoit le dépôt sur un filtre, on lave à l'eau bouillante, on calcine et on pèse l'*or* métallique.

Dans la solution filtrée, fortement acide et chaude, on fait passer un courant d'anhydride sulfureux, on laisse agir quelque temps et ensuite on porte à l'ébullition. On reçoit sur un filtre taré le précipité de *tellure*, qu'on lave bien à l'eau chaude et auquel on ajoutera plus tard la portion principale du tellure, qui a passé dans la solution B.

La liqueur filtrée, chauffée jusqu'à disparition de toute odeur sulfureuse, est étendue d'eau et soumise à l'action de l'hydrogène sulfuré. S'il se produit un précipité orangé de sulfure d'*antimoine*, on le recueille sur un petit filtre taré et on le pèse après dessiccation.

B. La solution azotique contient la majeure partie de l'argent et du tellure, ainsi que la totalité du mercure, du cuivre, du nickel et du fer.

On y précipite l'argent par de l'acide chlorhydrique étendu, versé peu à peu jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de trouble; on agite vivement et, quand la liqueur est éclaircie, on reçoit sur un filtre taré le chlorure d'argent précipité dans cette opération, ainsi que celui qui a été isolé dans le traitement du résidu insoluble A, pour faire en une seule fois le dosage de l'*argent*.

On évapore la dissolution filtrée avec un peu d'acide sulfurique, dans une assez grande capsule de porcelaine, jusqu'à apparition des vapeurs sulfuriques; on réussit de cette

manière à éliminer tout l'acide azotique, sans projection et sans qu'il y ait suroxydation de l'acide tellureux, dont la réduction ultérieure reste assez facile.

On reprend alors par l'acide chlorhydrique en suffisante quantité. La solution est fortement colorée en jaune ; elle devient presque incolore par addition d'eau. On la chauffe vers 100° dans une fiole de verre, puis on l'écarte du feu et on y fait passer un courant de gaz sulfureux, fourni par un siphon chargé d'anhydride sulfureux liquide. Le précipité gris noir de tellure se forme bientôt en abondance et il est généralement complet au bout de 10 à 15 minutes ; on chauffe vers 100° pour faciliter le dépôt, puis on décante une partie de la liqueur claire et on renouvelle l'action du gaz sulfureux. S'il ne se fait pas de trouble nouveau, on reçoit le précipité sur le filtre taré, où l'on a déjà retenu le tellure trouvé dans le résidu A. On achève le lavage à l'eau bouillante, on sèche à 100° et on prend le poids de tout le *tellure*.

La dissolution chlorhydrique peut encore contenir du mercure, du cuivre, du nickel et du fer.

Après expulsion du gaz sulfureux, on y fait arriver un courant d'hydrogène sulfuré et, après repos en fiole bouchée, on recueille le précipité noir formé des sulfures de mercure et de cuivre. On dissout le *cuivre* seul par l'acide azotique et on le transforme alors, suivant la quantité, soit en sulfure Cu^2S pour un dosage pondéral, soit en une solution ammoniacale bleue pour un dosage colorimétrique.

Le sulfure de *mercure* resté seul inattaqué par l'acide azotique est mis en digestion dans le sulfhydrate d'ammoniaque, puis lavé, séché et pesé. On s'assure, d'ailleurs, que l'on a bien affaire à du sulfure de mercure en le dissolvant dans un peu d'eau régale, puis saturant en partie par de la potasse et ajoutant de l'iodure de potassium par très petites

quantités à la fois. Le réactif produit un précipité jaune et ensuite rouge, tout à fait caractéristique, qui se redissout, si l'on en ajoute davantage.

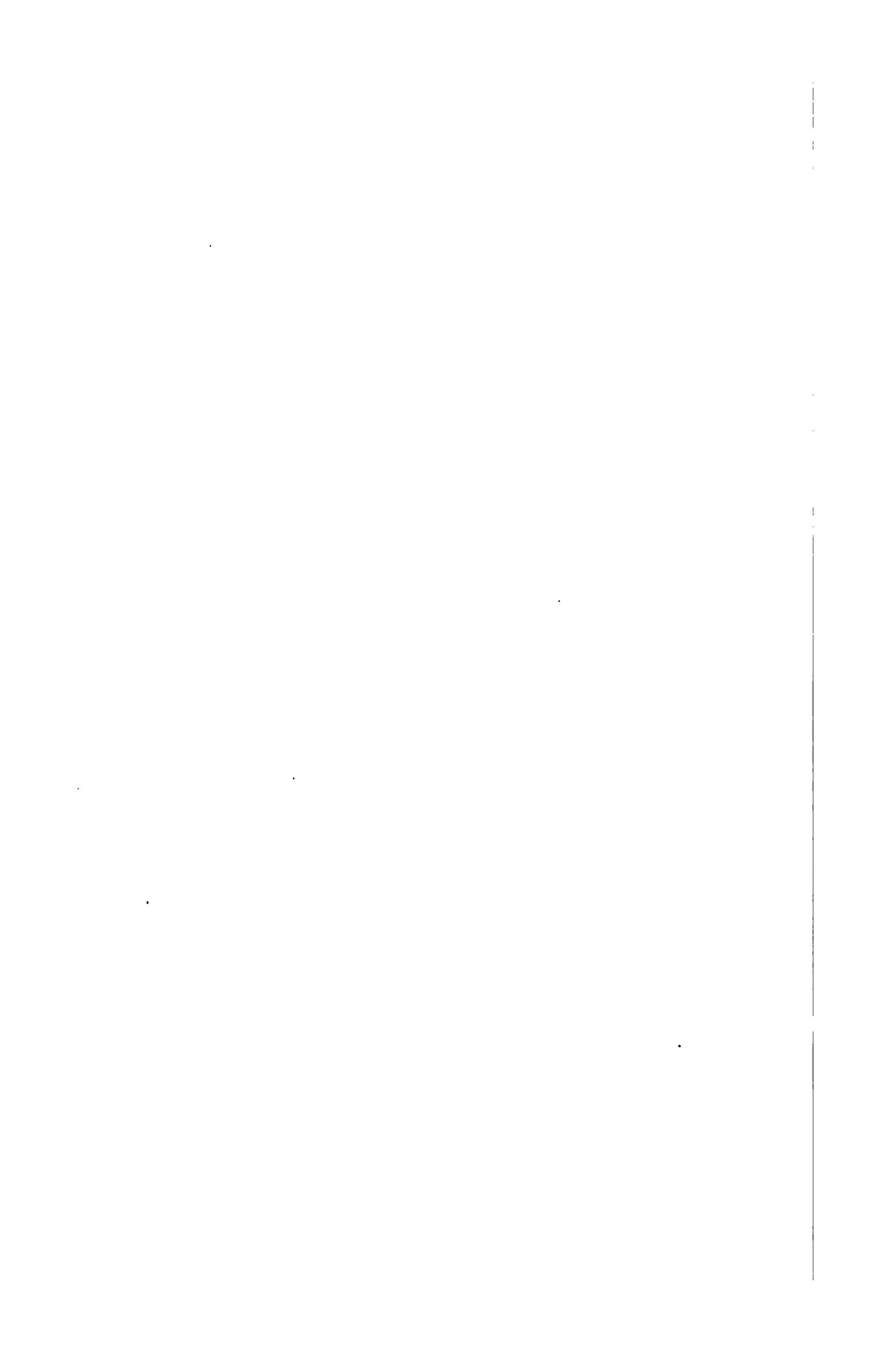
Le *fer* et le *nickel* ne sont guère qu'à l'état de traces; on les reconnaît et on les sépare, après expulsion de l'hydrogène sulfuré et peroxydation, en précipitant par l'ammoniaque l'hydrate ferrique et observant la coloration bleue de la liqueur produite par la présence du nickel.

L'essai de quelques fragments de tellurures par l'eau régale et le chlorure de baryum m'a donné, pour la recherche du *soufre*, des résultats négatifs.

Telle est la méthode qui m'a fourni les résultats donnés plus haut pour la composition des tellurures d'or, argent et mercure de l'Australie occidentale.

Le Secrétaire gérant,
PAUL GAUBERT.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1901. — BULLETIN N° 8.

Compte rendu de la séance du 14 novembre 1901.

PRÉSIDENCE DE M. WYROUBOFF.

M. LE PRÉSIDENT annonce quatre présentations.

M. LE PRÉSIDENT fait part à la Société de la mort de M. A.-E. Nordenskiöld, membre honoraire, de MM. de Limur et Tenne membres ordinaires, survenue depuis la dernière séance. Une notice nécrologique sur M. Nordenskiöld sera publiée ultérieurement dans le *Bulletin*.

M. A. Lacroix, s'excusant de ne pouvoir assister à la séance, envoie la notice suivante sur M. de Limur :

Notice nécrologique sur M. de Limur;

Par M. A. LACROIX.

Notre Société vient de perdre l'un de ses membres de la première heure, qui fut, à deux reprises, l'un de ses vice-présidents. M. de Limur s'est éteint, le 21 juin dernier à l'âge de quatre-vingt-quatre ans, au milieu de la très grande

collection minéralogique dont la création a été le but et le charme de sa vie.

M. de Limur était un de ces amateurs éclairés, nombreux en France jusqu'au milieu du siècle dernier, et qui, malheureusement, deviennent tous les jours de plus en plus rares. Nous ne saurions trop regretter leur diminution ; souvent, en effet, ils déterminent autour d'eux de jeunes vocations scientifiques; souvent aussi, par leurs patientes recherches, sur un coin limité de la France, ils contribuent à en découvrir et à en faire connaître les richesses minéralogiques : tel a été le cas de M. de Limur. Habitant à Vannes, dans une région intéressante au point de vue de la constitution du sol, il a passé la plus grande partie de sa vie à fouiller le Morbihan dans ses plus minutieux détails, ne le quittant que pour aller faire de fructueuses récoltes dans les Pyrénées.

Il a publié le résultat de ses recherches dans le *Bulletin* d'une Société scientifique locale, la *Société philomathique du Morbihan*. Son *Catalogue raisonné des minéraux du Morbihan* (1884) est surtout à citer. Il a aussi contribué à faire connaître la minéralogie de son pays en envoyant à beaucoup de collections françaises et étrangères des séries de minéraux bretons et en procurant ainsi de précieux matériaux d'étude à de nombreux savants. C'est ainsi qu'une collection d'échantillons de rutile, recueillis par lui aux environs de Vannes, a fourni à von Lasaulx les éléments de son travail sur les pseudomorphoses de rutile en ilménite, que ses collections des Pyrénées ont aidé M. Zirkel à publier sa note sur la *limurite*. L'auteur de ces lignes, plus que personne peut-être, a eu l'occasion d'apprécier l'obligeance et la générosité du vieux collectionneur, toujours prêt à sacrifier un échantillon unique de sa galerie, lorsque l'intérêt d'une recherche scientifique l'exigeait.

M. de Limur était resté fidèle aux méthodes scientifiques

de sa jeunesse; le chalumeau était son principal instrument de travail; il le maniait avec une adresse incomparable, et tous ses correspondants se souviennent des petites coupelles, délicatement montées, qu'il joignait à ses échantillons pour légitimer leur détermination.

Lorsque, il y a quelques années, l'Université de Rennes fut installée dans un nouveau palais, M. de Limur n'hésita pas à lui donner, *de son vivant*, ce qu'il considérait à juste titre comme la partie la plus précieuse de sa collection, sa série des minéraux du Morbihan, tenant ainsi à laisser à sa chère Bretagne le résultat d'une vie de recherches. Ce trait est caractéristique de l'excellent confrère que nous venons de perdre.

M. le Président fait la communication suivante :

Quelques mots à propos d'une expérience de M. Meigen ;

Par M. G. Wyrouboff.

M. Meigen (1) vient de montrer qu'en chauffant l'aragonite et la calcite finement pulvérisés avec une solutione étendue de nitrate de cobalt, on n'obtenait un dépôt de sel basique de cobalt qu'avec l'aragonite — la calcite n'exerce aucune action et la poudre reste blanche. Cette expérience, qui se fait très facilement et en quelques minutes, m'a d'autant plus intéressé qu'elle confirme, d'une façon extrêmement élégante, les idées que j'ai émises récemment sur la constitution des solutions (2).

(1) *Centralblatt f. Miner. Geol. u. Paleont.*, p. 577 ; 1901.
(2) *Bull. Soc. Min.*, XXIV, p. 36 ; 1901.

Les corps solides, en passant dans le dissolvant, ne se désagrègent pas en molécules chimiques, mais en particules physiques beaucoup plus complexes, douées de symétrie et constituées par un nombre plus ou moins considérable de molécules chimiques, auxquelles j'ai donné le nom de particules cristallines, parce qu'elles constituent les amas de matière disposés sur les nœuds du réseau cristallin. Suivant leur degré de stabilité, ces particules se conservent en solution ou se transforment plus ou moins rapidement en d'autres particules, soit de composition différente, comme dans le cas des hydrates, soit de forme différente, lorsque la substance est polymorphe. Il est clair qu'aucune réaction chimique n'est possible tant que la particule n'est pas détruite, tant que les molécules chimiques qui la composent ne sont pas mises en liberté. J'avais essayé d'appuyer cette façon de voir par une expérience directe, en montrant que les solutions faites à température ordinaire, de thénardite et de sulfate de soude fondu, donnaient, lorsqu'elles étaient précipitées par l'alcool, du moins pendant quelques minutes, deux précipités différents, l'un hydraté, l'autre anhydre. Il fallait nécessairement conclure qu'il y avait dans la solution autre chose que des molécules chimiques, identiques dans les deux cas, et que les particules de la thénardite se détruisaient immédiatement, tandis que les particules de sulfate fondu, beaucoup plus stables, se maintenaient pendant un certain temps.

L'expérience de M. Meigen est, sous ce rapport, bien plus convaincante et bien plus décisive, puisque l'un des corps reste indéfiniment stable dans la solution. Si la solution renfermait des molécules chimiques, la solubilité de l'aragonite et de la calcite étant à peu de chose près la même, il est clair que le nitrate de cobalt devrait être décomposé au même degré dans les deux cas. La stabilité plus grande de la particule de la calcite tient, sans aucun

doute, à sa symétrie plus élevée ; on sait, du reste, que, lorsqu'on chauffe l'aragonite, elle se transforme en calcite avec dégagement de chaleur ; elle est donc, comme les corps explosifs, de formation endothermique et, par conséquent, très instable.

M. DUFET fait la communication suivante :

Étude cristallographique et optique des sulfates de néodyme, de praséodyme et de samarium à $8H^2O$;

Par M. H. DUFET.

Les cristaux que j'ai étudiés ont été obtenus par MM. Chenal et Douilhet, qui ont, avec une obligeance dont je les remercie vivement, mis à ma disposition les éléments de ce travail. Ces cristaux, qui, à l'Exposition de 1900, avaient attiré l'attention de tous les chimistes, sont probablement les plus purs qu'on ait jamais obtenus. L'étude de leurs raies d'absorption, qu'on trouvera plus loin, a bien montré que leur pureté est relativement très grande.

Quand j'ai commencé cette étude, il n'existait, pour ces sels, qu'une détermination du sulfate de samarium, due à M. Fock (1). Récemment vient de paraître un mémoire de M. Kraus (2), qui a étudié les sulfates de praséodyme et de néodyme ; je rapporterai plus loin ces mesures qui sont, d'ailleurs, comme on le verra, convenablement d'accord avec les miennes.

(1) FOCK, *Gr. Zeits. f. Kryst.*, t. XXXII, p. 251 ; 1899.
(2) KRAUS, *Gr. Zeits. f. Kryst.*, t. XXXIV, p. 406 ; 1901.

I. — ÉTUDE CRISTALLOGRAPHIQUE.

Les trois sels sont clinorhombiques, parfaitement isomorphes entre eux et présentent naturellement la forme de l'ancien sulfate de didyme. Marignac (1), qui a étudié ces derniers, les a rapportés à des axes très obliques, qui ont l'inconvénient de ne pas mettre en évidence la forme nettement pseudo-cubique de ces sels, forme encore accusée par les propriétés optiques, très voisines de celles d'un cristal orthorhombique. Ces axes ont été adoptés par M. Fock et M. Kraus.

Les axes, choisis par Marignac dans le plan g^1 (010), font un angle de 62° environ ; j'obtiens des axes presque rectangulaires en conservant la base p (001) et en prenant pour prisme fondamental m (110), des faces généralement très développées dont l'angle est voisin de 90°, et que Marignac note $(31\bar{1})$. Avec ces axes, la bissectrice obtuse des axes optiques coïncide presque absolument avec l'axe vertical.

Je donne, dans le tableau suivant, la correspondance entre les symboles de Marignac et ceux que j'ai adoptés.

Notation adoptée	Notation de Marignac
p (001)	p $(00\bar{1})$
h^1 (100)	$a^{1/3}$ $(30\bar{1})$
o^1 (101)	a^1 $(10\bar{1})$
$o^{1/4}$ (401)	$a^{1/2}$ $(20\bar{1})$
$a^{1/2}$ $(20\bar{1})$	h^1 (100)
a^2 $(10\bar{2})$	o^1 (101)

(1) MARIGNAC, *Recherches sur les formes cristallines de quelques composés chimiques*. Genève, 1855 ; p. 35.

Notation adoptée	Notation de Marignac
m (110	$(31\bar{1})$
v (161)	$(21\bar{1})$
u (131)	$b^{1/2}$ $(11\bar{1})$
$e^{1/2}$ (021)	e^{1} $(01\bar{1})$
w $(13\bar{2})$	$d^{1/2}$ (111)
x $(46\bar{5})$	(211)
$b^{1/2}$ $(11\bar{1})$	(311)
$d^{1/2}$ (111)	$(31\bar{3})$

Fig. 1.

En appelant (ghk) une face dans le système d'axes que j'ai adopté, (pqr) la même face, dans le système de Marignac, on a les formules de transformation :

$$g = 2p \qquad p = 3g$$
$$h = 6q \qquad q = h$$
$$k = -p - 3r \qquad r = -2k - g$$

Pour les paramètres, en appelant a_1, c_1, β_1 les paramètres nouveaux, a_2, c_2, β_2 les anciens, on a :

$$\operatorname{tang}\beta_1 = \frac{3c_2 \sin\beta_2}{a_2 - 3c_2\cos\beta_2}, \qquad \operatorname{tang}\beta_2 = \frac{2c_1\sin\beta_1}{a_1 - 2c_1\cos\beta_1},$$

$$3a_1 = a_2, \qquad 2c_1\sin\beta_1 = c_2\sin\beta_2.$$

La figure 1 donne la projection stéréographique des cristaux. Je n'ai pas retrouvé la face x $(46\bar{5})$, citée par Marignac, ni les faces $o^{1/4}$ (401) et $b^{1/2}$ $(11\bar{1})$, citées par M. Kraus dans le sulfate de praséodyme. La face $e^{1/2}$, trouvée par lui dans ce dernier sel, s'est rencontrée également dans le sulfate de néodyme.

A. — *Sulfate de néodyme.*

$$(SO^4)^3Nd^2 + 8H^2O$$

$$a : b : c = 0{,}99465 : 1 : 0{,}88093$$

$$\beta = 88^\circ 17' 0''$$

	Angles des normales		
	Calculés	Mesurés	*Id.* (Kraus)
po^1 (001)(101)	40°46′½	40°46′	40°51′
pa^2 $(00\bar{1})(10\bar{2})$	24° 9′½	24°12′	
$pa^{1/2}$ $(00\bar{1})(20\bar{1})$	61°51′½	61°52′	61°42′
o^1a^2 $(101)(20\bar{1})$	64°56′	64°57′	
$o^1a^{1/2}$ $(101)(20\bar{1})$	Fond.	* 77°22′	
$a^2a^{1/2}$ $(10\bar{2})(20\bar{1})$	Fond.	* 37°42′	
mm $(110)(1\bar{1}0)$	Fond.	* 89°40′	

	Angles des normales		
	Calculés	Mesurés	*Id.* (Kraus)
$a^{1/2}m$ $(20\bar{1})(110)$	52° 2′ 1/2	52° 2′ 1/2	
$a^{1/2}v$ $(20\bar{1})(461)$	66°14′ 1/2	66°16′	66°25′
mv $(110)(461)$	14°12′	14°19′	
$a^{1/2}u$ $(20\bar{1})(131)$	84°16′	84°17′	84°15′
mu $(110)(131)$	32°13′ 1/2	32°15′	
uv $(131)(461)$	18° 1′ 1/2	18° 0′	
$me^{1/2}$ $(110)(021)$	51°25′ 1/2	51°31′ (app.)	
$ue^{1/2}$ $(131)(021)$	19°12′	19° 8′	
$a^{1/2}e^{1/2}$ $(\bar{2}01)(021)$	76°32′	»	
$a^{1/2}w$ $(\bar{2}01)(\bar{1}32)$	59°55′	59°54′	
$e^{1/2}w$ $(021)(\bar{1}32)$	16°37′	16°38′	
uw $(131)(\bar{1}32)$	35°49′	35°47′	
pm $(001\ (110)$	88°47′	88°48′	
$pd^{1/2}$ $(001)(111)$	50°34′ 1/2	50°35′	
pv $(001)(461)$	80° 8′	80° 6′	
pu $(001)(131)$	69°46′	69°46′	
pw $(00\bar{1})(13\bar{2})$	54°41′	54°41′	
uw $(131)(13\bar{2})$	55°33′	55°34′	
$pe^{1/2}$ $(001)(021)$	60°24′ 1/2	60°25′	
o^1m $(101)(110)$	61°22′ 1/2	61°21′	
o^1w $(\bar{1}0\bar{1})(13\bar{2})$	74°26′	74°29′	
o^1v $(101)(461)$	60°47′	60°46′	60°54′
$o^1d^{1/2}$ $(101)(111)$	33° 0′ 1/2	33° 0′	
o^1u $(101)(131)$	62°50′	62°52′	62°50′ 1/2
$d^{1/2}u$ $(111)(131)$	29°49′ 1/2	29°49′	
uu $(131)(\bar{1}3\bar{1})$	54°20′	54°20′	
vv $(461)(4\bar{6}1)$	109°31′	»	109 57′
mu $(110)(\bar{1}3\bar{1})$	65°53′	65°52′	
ww $(13\bar{2})(1\bar{3}\bar{2})$	101°22′	101°20′	

Remarque. — Les cristaux de sulfate de néodyme qui ont servi aux mesures cristallographiques étaient petits (2 millimètres de côté) et présentaient des faces bien planes, sauf pourtant u (131), parfois striée, et $e^{1/2}$ (021), extrêmement petite et manquant souvent. Les mesures sont, comme on le voit, remarquablement concordantes.

B. — *Sulfate de praséodyme.*

$$(SO^4)^3Pr^2 + 8H^2O$$
$$a : b : c = 0,99026 : 1 : 0,88278$$
$$\beta = 88^\circ 24' 10''$$

	Angles des normales		
	Calculés	Mesurés	*Id.* (Kraus)
po^1 (001) (101)	41° 0′	41° 0′	40° 46′
pa^2 (00$\bar{1}$) (10$\bar{2}$)	Fond.	* 24° 17′	»
$pa^{1/2}$ (00$\bar{1}$) (20$\bar{1}$)	61° 56′	62° 0′	62° 0′
$a^2a^{1/2}$ (10$\bar{2}$) (20$\bar{1}$)	Fond.	* 37° 39′	37° 51′
$o^1o^{1/1}$ (101) (401)	31° 51′	»	31° 51′
mm (110) (1$\bar{1}$0)	Fond.	* 89° 25′	89° 42′
$a^{1/2}m$ (20$\bar{1}$) (110)	51° 52′	51° 51′	51° 56′
$a^{1/2}v$ (20$\bar{1}$) (461)	66° 4′	66° 18′ app.	66° 21′
mv (110) (461)	14° 12′	14° 19′	»
$a^{1/2}u$ (20$\bar{1}$) (131)	84° 8′	84° 17′	84° 12′
uv (131) (461)	18° 4′	17° 47′ app.	»
$ve^{1/2}$ (461) (021)	37° 21′	37° 41′ app.	»
$ue^{1/2}$ (131) (021)	19° 17′	19° 6′	19° 12′
$a^{1/2}e^{1/2}$ ($\bar{2}$01) (021)	76° 35′	»	76° 30′
$a^{1/2}w$ ($\bar{2}$01) ($\bar{1}$32)	59° 54′	»	59° 57′
$e^{1/2}w$ (021) ($\bar{1}$32)	16° 41′	16° 5′ app.	»
uw (131) ($\bar{1}$32)	35° 58′	35° 50′	»
$a^{1/2}b^{1/2}$ ($\bar{2}$01) ($\bar{1}$11)	38° 23′ 1/2	»	38° 27′

	Angles des normales		
	Calculés	Mesurés	*Id.* (Kraus)
pm (001)(110)	88° 52′	»	88° 41′
$pd^{1/2}$ (001)(111)	50° 45′	»	50° 34′
pv (001)(461)	80° 13′	79° 49′ app.	80° 8′
pu (001)(131)	69° 51′	69° 45	69° 52′ 1/2
pw (00$\bar{1}$)(13$\bar{2}$)	54° 44′	54° 56′	»
$pe^{1/2}$ (001)(021)	60° 28′	60° 27′	»
o^1m (101)(110)	61° 15′	60° 58′	61° 19′
mw (110)(13$\bar{2}$)	44° 7′	44° 9′	»
o^1v (101)(461)	60° 43′	60° 38′	60° 46′
$o^1e^{1/2}$ ($\bar{1}$0$\bar{1}$)(02$\bar{1}$)	68° 9′ 1/2	68° 7′	»
$ve^{1/2}$ (461)(02$\bar{1}$)	51° 7′ 1/2	50° 58′	»
$o^1d^{1/2}$ (101)(111)	33° 1′	32° 49′	32° 58′
o^1u (101)(131)	62° 50′ 1/2	»	62° 51′
$o^{1/4}v$ (401)(461)	54° 50′	»	54° 48′
mu (110)($\bar{1}$3$\bar{1}$)	66° 1′	66° 28′ app.	»
a^1w (10$\bar{2}$)(13$\bar{2}$)	50° 42′	50° 35′	»
a^2u (10$\bar{2}$)($\bar{1}$3$\bar{1}$)	79° 0′	»	78° 54′
a^2v (10$\bar{2}$)($\bar{4}$6$\bar{1}$)	94° 6′	»	93° 59′
a^2m (10$\bar{2}$)($\bar{1}$10)	105° 52′	»	105° 48′
$me^{1/2}$ ($\bar{1}$10)(021)	52° 58′	52° 53′	»
$e^{1/2}d^{1/2}$ (021)(111)	38° 11′	38° 21′	»

Remarque. — Les cristaux de sulfate de praséodyme présentaient des faces moins planes que ceux du sulfate de néodyme, et les mesures sont moins concordantes. Notamment les faces de la zone principale $a^{1/2}$, m, u, v, $e^{1/2}$, w étaient le plus souvent striées, sauf $e^{1/2}$, assez bon. Les angles pris comme fondamentaux ont été fournis par de bonnes mesures, et je crois les paramètres convenablement déterminés. Ils s'accordent d'ailleurs très bien avec les mesures de M. Kraus.

C. — *Sulfate de samarium.*

$(SO^4)^3 Sm^2 + 8H^2O$

$a : b : c = 1,00103 : 1 : 0,88192$

$\beta = 88° 16' 40''$

	Angles des normales		
	Calculés	Mesurés	*Id.* (Fock)
po^1 (001)(101)	40° 38′	40° 41′	40° 11′
pa^2 (00$\bar{1}$)(10$\bar{2}$)	24° 3′	24° 5′	
$pa^{1/2}$ (00$\bar{1}$)(20$\bar{1}$)	61° 44′	61° 43′	62° 30′
o^1a^2 (101)($\bar{1}$02)	64° 41′	64° 45′	
$o^1a^{1/2}$ (101)(20$\bar{1}$)	77° 38′	77° 36′	
$a^2a^{1/2}$ (10$\bar{2}$)(20$\bar{1}$)	37° 41′	37° 37′	
mm (110)(1$\bar{1}$0)	Fond.	* 90° 2′	
$a^{1/2}m$ (20$\bar{1}$)(110)	52° 15′	52° 13′	
$a^{1/2}v$ (20$\bar{1}$)(461)	66° 26′	66° 29′	
mv (110)(461)	14° 11′	14° 10′	
$a^{1/2}u$ (20$\bar{1}$)(131)	84° 24′ 1/2	84° 28′	
uv (131)(461)	17° 58′ 1/2	17° 56′	
$a^{1/2}w$ ($\bar{2}$01)($\bar{1}$32)	59° 57′	59° 55′	
uw (131)($\bar{1}$32)	35° 38′ 1/2	35° 37′	
vw (461)($\bar{1}$32)	53° 37′	53° 32′	
mw (110)($\bar{1}$32)	67° 48′	67° 50′	
pm (001)(110)	88° 47′	88° 54′	
$pd^{1/2}$ (001)(111)	50° 31′	50° 33′	
pv (001)(461)	80° 8′	»	79° 46′
pu (001)(131)	Fond.	* 69° 47′	69° 50′
pw (00$\bar{1}$)(13$\bar{2}$)	Fond.	* 54° 42′	54° 56′
uw (131)(13$\bar{2}$)	55° 31′	55° 31′	
o^1m (101)(110)	61° 34′	61° 31′	
o^1w ($\bar{1}$0$\bar{1}$)(13$\bar{2}$)	74° 18′	74° 27′	
mw (110)(13$\bar{2}$)	44° 8′	44° 3′	

	Calculés	Mesurés	*Id.* (Fock)
o^1v (101) (131)	60° 56′	60° 55′	60° 33′
[$o^1d^{1/2}$ (101) (111)	33° 6′	33° 11′	
[uu (131) (1$\bar{3}$1)	125° 50′	»	125° 52′
vv (461) (4$\bar{6}$1)	110° 10′	»	110° 12′
[a^2w (10$\bar{2}$) (13$\bar{2}$)	50° 45′	50° 43′	
[ww (13$\bar{2}$) (1$\bar{3}\bar{2}$)	101° 30′	101° 26′	

Remarque. — Les cristaux de sulfate de samarium étaient presque aussi bons que ceux de néodyme, sauf dans la zone ph^1, où les faces sont parfois un peu striées. Ils ne m'ont pas présenté la face $e^{1/2}$.

D. — *Comparaison aux résultats antérieurs.*

Les mesures que j'ai faites sur les sulfates de néodyme et de praséodyme, sont, d'une manière générale, bien d'accord avec celles de M. Kraus. Les paramètres que donne ce dernier, rapportés aux axes que j'ai adoptés, sont :

(néodyme) $a : b : c = 0{,}9934 : 1 : 0{,}8795$, $\beta = 88°29'$
(praséodyme) $a : b : c = 0{,}9954 : 1 : 0{,}8831$, $\beta = 88°\ 9'30''$

tandis que je trouve :

(néodyme) $a : b : c = 0{,}9946 : 1 : 0{,}8809$, $\beta = 88°17'$
(praséodyme) $a : b : c = 0{,}9903 : 1 : 0{,}8828$, $\beta = 88°24'$

Il me paraît difficile de dire si ces divergences tiennent à des erreurs d'expérience ou au défaut de pureté des sels examinés. Les angles *observés* par M. Kraus pour le praséodyme se rapprochent beaucoup de ceux que j'ai mesurés pour le néodyme. Les formes des deux sels sont assurément très voisines.

Quant aux mesures de M. Fock sur le sulfate de samarium, la divergence est un peu plus grande ; ses paramètres, ramenés aux nouveaux axes, sont :

$$a : b : c = 1{,}0109 : 1 : 0{,}8905, \beta = 87^\circ 16'$$

et les miens :

$$a : b : c = 1{,}0010 : 1 : 0{,}8819, \beta = 88^\circ 17'$$

Je ferai remarquer que les cristaux examinés par M. Fock étaient assez imparfaits ; on trouve, en effet, dans sa note, que les angles donnés comme mesures sont des moyennes entre des observations différant entre elles de 2 à 3°.

Pour les mesures antérieures qui ont porté sur l'ancien didyme, il existe une grande incertitude sur la composition des sels étudiés. Celles de ces mesures qui paraissent avoir porté sur les cristaux les plus nets sont les plus anciennes en date, celles de Marignac ; elles sont bien d'accord avec le calcul. Les cristaux présentaient les faces que j'ai observées, sauf $e^{1/2}$ (021) et de plus x $(46\bar{5})$ [(211) de Marignac]. En conservant, comme fondamentaux, les angles choisis par Marignac, qui sont sans doute ceux ayant fourni les meilleures mesures, on obtient, pour les paramètres, les nombres suivants :

$$a : b : c = 0{,}9892 : 1 : 0{,}8818, \beta = 88^\circ 36'$$

qui se rapprochent beaucoup plus de ceux trouvés pour le praséodyme que pour le néodyme.

Il est probable que le didyme de Marignac contenait beaucoup de praséodyme. Ce qui justifierait cette supposition, c'est le poids atomique donné par cet habile expérimenta-

teur, 144, presque identique au nombre 143,6 donné pour le praséodyme par Auer von Welsbach, tandis que celui du néodyme est 140,8.

Les mesures de Bunsen (1) et de Rammelsberg (2) paraissent avoir porté sur des cristaux assez imparfaits. L'écart entre l'observation et le calcul peut atteindre un demi-degré, et il n'y a rien à tirer de leur comparaison aux miennes. Tout ce que je puis dire, c'est qu'elles se rapprochent plus du sulfate de samarium que des autres sels.

II. — Propriétés optiques.

Ces sels ont présenté dans leurs propriétés optiques des particularités intéressantes. Les sulfates de néodyme et de praséodyme présentent, au voisinage des régions riches en raies d'absorption, la dispersion anomale, trop peu marquée cependant pour se révéler par la mesure directe des indices, mais montrant nettement son existence par la variation rapide de l'angle des axes optiques au voisinage de ces bandes. De plus, le sulfate de néodyme et, à un degré moindre, celui de praséodyme, présentent un phénomène que je crois absolument nouveau; c'est la *dispersion anomale des axes d'élasticité optique*.

Comme les propriétés optiques des trois sels sont très voisines, j'éviterai des redites, en rapportant d'abord, pour les trois sels, les mesures d'indices, puis les mesures sur l'angle des axes optiques, et enfin celles sur l'orientation et la dispersion des axes d'élasticité.

A. *Mesures des indices principaux.* — J'ai mesuré les

(1) Bunsen, *Pogg. Ann.*, t. CXXVIII, p. 102; 1866.
(2) Rammelsberg, *Krystall.-physik. Ch.*, t. I, p. 440 ; 1881.

indices pour les radiations du lithium, du sodium et du thallium au moyen du réfractomètre Abbe-Pulfrich. Les mesures par réflexion totale ne présentent rien de particulier; en opérant avec un oculaire muni d'un spectroscope, il n'y a, avec des plaques bien polies, pas trace de raies d'absorption dans la lumière réfléchie. La limite de réflexion totale s'étend régulièrement dans le spectre; s'il y a des anomalies dans les indices, ainsi que le montrera la dispersion des axes, elles n'atteignent certainement pas la quatrième décimale.

Voici le tableau des résultats pour les trois sels étudiés.

Sulfate de néodyme ($t = 18^{oc}$)

	n_g	n_m	n_p
Li......	1,5583	1,5469	1,5379
D......	1,5621	1,5505	1,5413
Tl......	1,5632	1,5534	1,5441

	2V (calculé)
Li..........	83°49′
D..........	83°57′
Tl..........	83°48′

Sulfate de praséodyme ($t = 24^{co}$)

	n_g	n_m	n_p
Li......	1,5573	1.5459	1,5366
D......	1,5607	1,5494	1,5399
Tl......	1,5641	1,5525	1,5430

	2V (calculé)
Li..........	84°45′
D..........	85°27′
Tl..........	84°52′

Sulfate de samarium ($t = 18^{\circ}$)

	n_g	n_m	n_p
Li......	1,5394	1,5486	1,5393
D......	1,5629	1,5519	1,5427
Tl......	1,5663	1,5551	1,5458

	2V (calculé)
Li..........	85° 39′
D..........	85° 26′
Tl..........	85° 14′

B. *Angle des axes optiques.* — Le plan des axes est perpendiculaire à g^1 (010), et la bissectrice aiguë, *positive*, est parallèle à l'axe de symétrie. Comme le plan des axes est très près d'être normal à la base p (001), qui est un plan de clivage parfait, les mesures d'angle des axes ont été faites avec des lames de clivage immergées dans la naphtaline bromée. Il suffit d'incliner un peu la plaque de manière à faire passer les anneaux au centre du champ, ce qui, comme on sait, n'introduit aucune erreur dans l'angle mesuré.

1° *Sulfate de néodyme.*

L'angle des axes mesuré à 20° C., sur la bissectrice obtuse, est 88° 24′ pour la lumière du lithium, et 87° 34′ pour celle du thallium. Avec l'indice de la naphtaline, mesuré immédiatement après la mesure, on calcule pour l'angle *aigu* intérieur :

$$2V = 84°2' \text{ (lithium)}$$
$$83°36' \text{ (thallium)}$$

En observant les axes en lumière spectrale, on voit que l'angle augmente assez brusquement en approchant de la

bande d'absorption placée entre $\lambda = 0^{\mu},594$ et $\lambda = 0^{\mu},571$. pour présenter après cette bande sa valeur minimum; il augmente ensuite très lentement jusqu'à la valeur relative à la raie du thallium. Celle-ci ($\lambda = 0^{\mu},535$) est très voisine de la bande d'absorption du vert qui commence à $\lambda = 0^{\mu},534$. Ces variations ont été étudiées sur une plaque sensiblement normale à l'axe optique, observée dans la naphtaline bromée.

En lumière spectrale, les hyperboles passant par l'axe optique sont élargies ou resserrées, suivant que la dispersion des axes optiques se fait dans le sens des couleurs spectrales ou en sens inverse; cet élargissement, symétrique quand la loi de la variation de la dispersion avec la longueur d'onde est la même, linéaire par exemple, pour le prisme et les axes optiques, cesse de l'être dans le cas contraire. On éliminera suffisamment cette cause d'erreur en retournant la plaque de 180° dans son plan et en prenant la moyenne des valeurs observées.

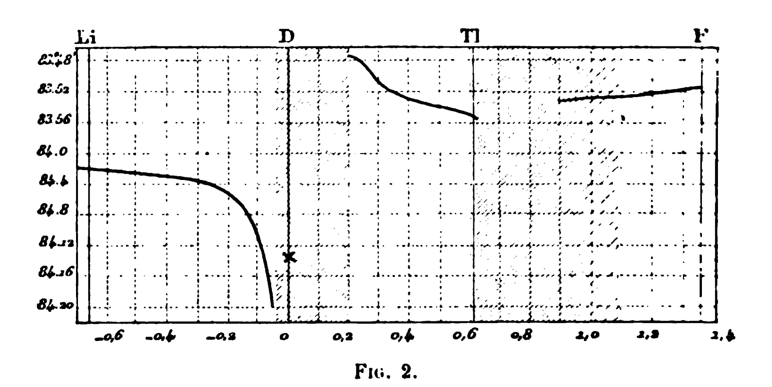


Fig. 2.

La moyenne des nombres obtenus dans plusieurs observations bien concordantes est représentée par la courbe de la

figure 2; les abscisses sont les valeurs de $\frac{1}{\lambda^2}$ et les ordonnées les angles intérieurs des axes optiques. On voit que cette courbe a tout à fait l'allure des courbes représentant les indices dans la dispersion anomale; c'est très certainement à la dispersion anomale des indices principaux que sont dues ces variations de l'angle des axes, petites il est vrai, mais pourtant facilement mesurables.

L'angle des axes pour la raie D a pu être mesuré, en ouvrant largement la fente du spectroscope et en l'éclairant par la lumière du sodium; on élimine ainsi par la dispersion la lumière étrangère, et l'on peut, bien qu'assez difficilement, apercevoir les hyperboles; il n'y a pas, en effet, de maximum d'absorption coïncidant rigoureusement avec les raies du sodium.

Voici le résumé des nombres obtenus :

2V ($t = 20°$)		*id* (calculé)
84° 2′	Lithium	83° 49′
84° 20′	Maximum observé	
84° 13′ 1/2	Sodium	83° 57′
83° 47′ 1/2	Minimum observé	
83° 56′ 1/2	Thallium	83° 48′
83° 51′	(Raie F)	

On voit que ces valeurs sont suffisamment d'accord avec celles déduites des indices, étant donnée la faible biréfringence de la substance.

2° *Sulfate de praséodyme.*

Le sulfate de praséodyme présente des phénomènes analogues, mais plus marqués et plus intéressants, parce qu'on peut suivre les axes optiques dans l'intérieur de la bande

d'absorption. On peut, en particulier, facilement déterminer l'angle des axes avec la lumière du sodium.

L'angle des axes mesuré en lumière monochromatique est presque identique pour les radiations du lithium et du thallium :

$$2V \quad = 84°51'$$
$$2V_{Tl} = 84°52'$$

tandis que, pour la lumière du sodium, il atteint 85° 28'.

Ces résultats se rapportent à la température de 24° C.

Ces nombres s'accordent parfaitement avec ceux déduits des mesures d'indices, à la même température :

2V (calculé)	
84° 45'	Li
85° 27'	D
84° 52'	Tl

La bande d'absorption du sulfate de praséodyme s'étend de $\lambda = 0^\mu,600$ à $\lambda = 0^\mu,580$; elle change beaucoup d'aspect avec la direction des vibrations lumineuses, et, en particulier, pour les vibrations parallèles à la bissectrice aiguë elle présente une teinte plate très peu intense de $0^\mu,600$ à $0^\mu,580$, avec une raie bien nette et très forte dont le milieu répond à $\lambda = 0^\mu,5916$. Cette raie est donc un peu moins réfrangible que la raie D ($0^\mu,5893$) et très voisine de cette raie.

En suivant en lumière spectrale la dispersion propre des axes optiques, on voit que l'angle diminue à peine depuis l'extrémité rouge du spectre jusqu'à la bande d'absorption. On peut encore suivre un peu les axes dans l'intérieur de la bande du côté le moins réfrangible, quoique assez difficilement.

L'observation est beaucoup plus facile dans la moitié de

la bande plus réfrangible que la raie 5916. L'angle des axes décroît très rapidement, à partir de la valeur relative à la raie D, et arrive à un minimum de 84° 37′, exactement à la limite extrême de la bande d'absorption. A ce moment l'angle augmente assez rapidement, et continue à croître très lentement à partir de la valeur relative au thallium. Il m'a été impossible, à cause du défaut de lumière, de suivre les axes jusqu'aux bandes d'absorption du violet.

Ces observations ont été faites sur une plaque de clivage, dans la naphtaline bromée; dans la cuve se trouvait un thermomètre, de manière à corriger chaque lecture particulière et à la ramener à la température moyenne de l'expérience.

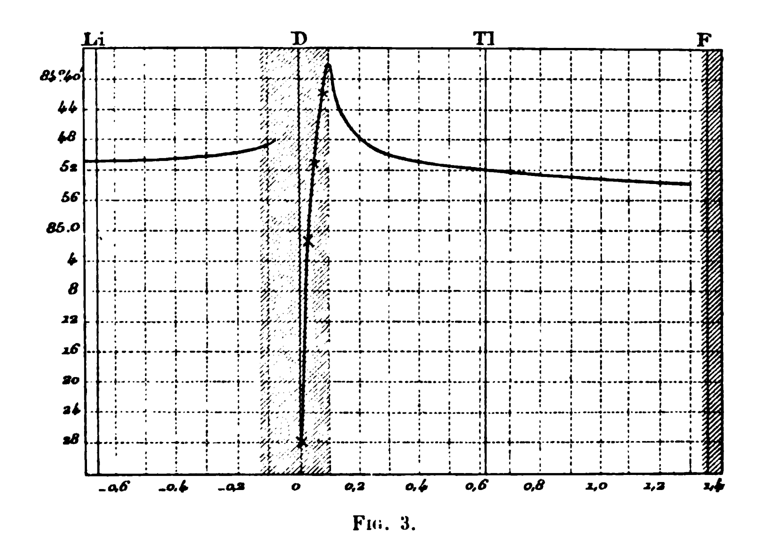


Fig. 3.

La figure 3 représente la moyenne des observations, en prenant pour abscisses $\frac{1}{\lambda^2}$. On remarquera la forme nette-

ment asymptotique de la courbe au voisinage de la raie 5916 ; c'est la forme observée en particulier dans la dispersion anomale de la vapeur de sodium par M. H. Becquerel.

3° *Sulfate de samarium.*

Dans ce sel, qui ne présente jusqu'à la raie F que des raies d'absorption fines et peu intenses, la dispersion des axes m'a paru tout à fait régulière. J'ai trouvé, à la température de 26° C., sur une plaque de clivage normale à la bissectrice obtuse, les valeurs suivantes pour l'angle intérieur :

$$2V = 86°1' \text{ (lithium)}$$
$$85°56' \text{ (sodium)}$$
$$85°52' \text{ (thallium)}$$

L'angle des axes augmente notablement avec la température ; il vaut 85° 39' à 20° C., pour la raie D. Il varie donc de 2' 50" par degré centigrade. On en déduit les valeurs relatives à la température de 18°, qui est celle des mesures d'indices. On trouve ainsi :

Mesuré	Calculé	
85° 38' 1/2	85° 39'	Lithium
85° 33' 1/2	85° 26'	Sodium
85° 29' 1/2	85° 14'	Thallium

Les écarts répondent à une erreur sur les indices plus petite qu'une unité du quatrième ordre.

C. *Orientation optique.* — J'ai pu déterminer avec une grande précision l'angle du plan des axes avec la normale à la base. Soit une plaque de clivage placée sur le microscope polarisant et réglée de façon que, dans la naphtaline bromée, les axes passent exactement au centre du champ.

Il est facile, avec un spath un peu épais, bien normal à l'axe optique, de rendre l'axe du microscope rigoureusement perpendiculaire à l'axe de rotation de la lame. Cela fait, en abaissant la cuve à liquide sans toucher à la lame, on tourne cette lame de manière à faire réfléchir sur elle la lumière provenant d'un petit collimateur placé à 90° du microscope. L'angle que fait dans le plan vertical l'image réfléchie avec l'axe du microscope s'évalue à une ou deux minutes près, soit au moyen d'un oculaire à micromètre, soit en faisant tourner la lame de manière à amener l'image sur les deux fils rectangulaires du réticule placés à 45° du plan vertical.

Soit O (*fig.* 4), la trace de l'axe du microscope, OA l'axe du collimateur; l'angle ainsi observé est OB, et l'angle de la normale à la plaque avec le plan des axes *extérieurs* (dans la naphtaline bromée) est CD. Puisque AC = 45°, on a immédiatement :

$$\sin CD = \frac{1}{\sqrt{2}} \sin BO.$$

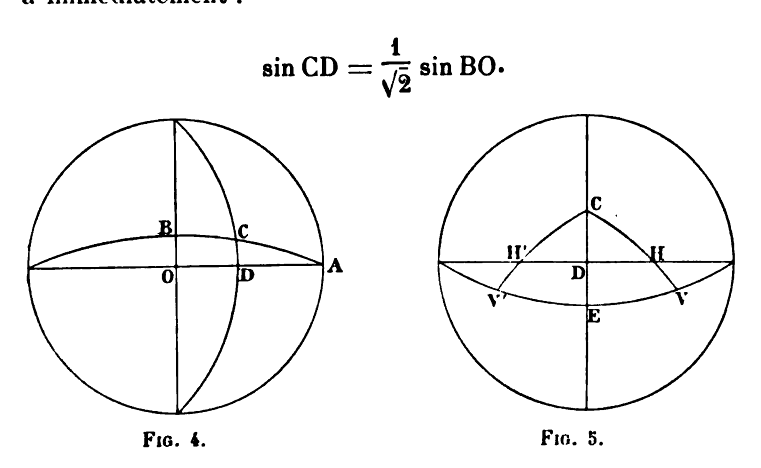


Fig. 4. Fig. 5.

Il est facile de calculer l'angle de la normale avec la bissectrice des axes *intérieurs*. Soient H et H' (*fig.* 5) les axes

extérieurs, V et V′ les axes intérieurs, l'angle cherché est CE. Si j'appelle N l'indice de la naphtaline, n l'indice moyen du cristal, H et V les demi-angles des axes extérieurs et intérieurs, on a N sin CH $= n$ sin CV, et dans les triangles CDH, CEV,

$$\frac{\sin V}{\sin H} = \frac{\sin CV}{\sin CH} = \frac{N}{n},$$

$$\frac{\sin CE}{\sin CD} = \frac{\operatorname{tang} V}{\operatorname{tang} H}.$$

1° *Sulfate de néodyme.* — La bissectrice obtuse des axes rouges (lithium) fait un angle de 2° 26′ avec la normale à p, du côté de $a^{1/2}$. D'après les mesures cristallographiques, la normale à p fait un angle de 1° 43′ avec l'axe vertical. On trouve ainsi que le plan des axes rouges fait un angle de 0° 43′ avec l'axe vertical dans l'angle *aigu* des axes. J'étudierai un peu plus loin la dispersion horizontale très curieuse que présente ce sel.

2° *Sulfate de praséodyme.* — Dans ce sel, la dispersion horizontale est très faible, bien que mesurable. Le plan des axes rouges fait avec la normale à p, du côté de $a^{1/2}$, un angle de 2° 24′, ce qui donne pour l'angle avec l'axe vertical 0° 48′, dans l'angle *aigu* des axes.

3° *Sulfate de samarium.* — Dans ce dernier sel, le plan des axes fait un angle de 26′ seulement avec la normale à p, encore du côté de $a^{1/2}$. Il en résulte que la bissectrice obtuse fait un angle de 1° 17′ avec l'axe vertical dans l'angle *obtus* des axes cristallographiques.

On voit combien les propriétés optiques de ces trois sels sont voisines de celles d'un cristal orthorhombique, dont ils sont aussi très voisins par leur forme.

Il reste à décrire les phénomènes de dispersion présentés par le sulfate de néodyme et le sulfate de praséodyme.

Quand on examine les anneaux en lumière spectrale, on voit, en déplaçant le collimateur du spectroscope, un déplacement brusque et relativement considérable des anneaux de part et d'autre de la bande d'absorption de l'orangé. Les mesures ont été faites sur une plaque sensiblement normale à l'axe optique, immergée dans la naphtaline bromée. Le plan des axes optiques est disposé parallèlement à l'axe de rotation de la plaque, les sections principales des nicols étant l'une parallèle, l'autre perpendiculaire au plan des axes ; on obtient alors une frange noire verticale qui se déplace quand on change la longueur d'onde de la lumière. En multipliant les angles observés par le rapport des indices de la naphtaline bromée et du cristal, on a les angles pour les axes intérieurs. Enfin, en divisant ces angles par le sinus du demi-angle vrai des axes optiques, on obtient, comme il est facile de le voir, l'angle des bissectrices obtuses placées dans le plan de symétrie avec une d'elles prise comme origine.

Dans le sulfate de néodyme, j'ai trouvé, comme on l'a vu plus haut, que le plan des axes rouges fait un angle de 0° 43′ avec l'axe vertical dans l'angle *aigu* des axes. Cet angle augmente quand on se rapproche de la bande d'absorption de l'orangé et atteint, à la limite la moins réfrangible de cette bande, un maximum de 0° 58′. D'un bord à l'autre de la bande, l'angle varie de près de 1° et atteint la valeur minimum de 0° 2′ ; j'ai pu faire quelques mesures dans l'intérieur de la bande, d'où il résulte que le plan des axes se déplace du maximum au minimum proportionnellement à $\frac{1}{\lambda^2}$. Entre la bande de l'orangé et celle du vert, l'angle du plan des axes optiques avec l'axe vertical augmente et passe, immédiatement après la raie du thallium, au contact de la bande du vert, par un maximum relatif de 0° 26′ 30″, pour décroître ensuite jusqu'à la valeur de 0° 17′ (Raie F).

La figure 6 représente les résultats des mesures; les abscisses sont données en $\frac{1}{\lambda^2}$; l'échelle est suffisante pour que cette figure remplace avantageusement un tableau numérique.

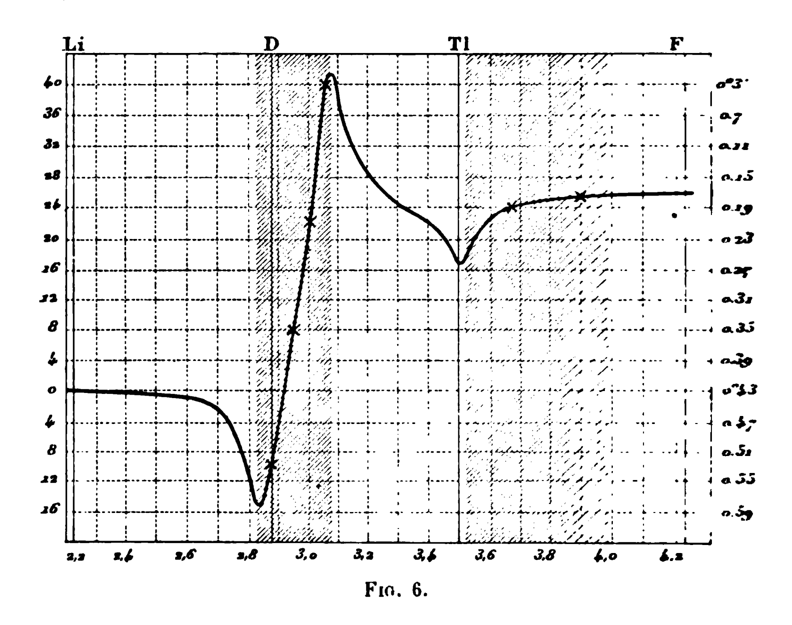


Fig. 6.

J'ai, dans un travail déjà ancien (1), montré que, dans les cristaux clinorhombiques, la dispersion des axes d'élasticité optique suivait à peu près la même loi que les indices de réfraction, c'est-à-dire que la courbe donnant les angles des bissectrices avec l'une d'elles, en fonction de $\frac{1}{\lambda^2}$, était voisine d'une droite. Nous trouvons ici une vérification remarquable du

(1) *Sur la dispersion des axes d'élasticité optique dans les cristaux clinorhombiques* (*Bull. Soc. de Minér.*, t. X, p. 274; 1887).

même fait, où la dispersion anomale remplace la dispersion régulière, qui n'est pas loin d'être proportionnelle à $\frac{1}{\lambda^2}$. La courbe de la figure 6 présente, en effet, une analogie complète avec les courbes qui représentent les indices anomaux en fonction de $\frac{1}{\lambda^2}$.

On rencontre dans le sulfate de praséodyme des phénomènes du même ordre, mais beaucoup moins marqués. Ils ont été mesurés exactement de la même manière, sur une plaque perpendiculaire à un axe optique. Les axes optiques pour la raie D, qui présentent une forte anomalie au point de vue de la dispersion propre des axes, en présentent aussi une notable au point de vue de la dispersion des bissectrices. La position de l'axe pour la raie D a été repérée en lumière monochromatique, en ouvrant largement la fente du spectroscope, ainsi que je l'ai indiqué plus haut. La figure 7 représente la marche

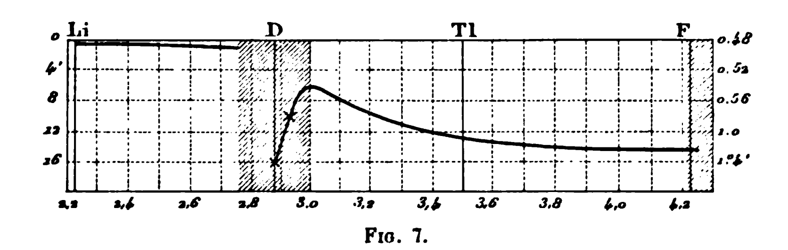


Fig. 7.

du phénomène, à la même échelle que la figure 6. On voit qu'ici la dispersion des axes se fait dans le sens contraire à celui du néodyme, ce qui exclut l'hypothèse d'une impureté. L'angle du plan des axes optiques avec l'axe vertical qui, pour la lumière du lithium, est de 0° 48′, augmente jusqu'à 1°2′ 30″ (Raie F), en mettant à part la valeur anomale relative à la raie D (1° 4′ 20″).

III. — Spectres d'absorption.

J'ai observé et mesuré les spectres d'absorption fournis par les trois sulfates, surtout dans le but de m'assurer s'il existait entre eux des raies communes. Ils m'ont paru absolument distincts.

J'ai vérifié, comme je devais m'y attendre, l'exactitude des résultats curieux découverts par M. H. Becquerel (1) dans le sulfate de l'ancien didyme, sur les différences existant entre les spectres d'absorption suivant la direction des vibrations. Les spectres que j'ai représentés et décrits sont ceux pour lesquels les vibrations ont lieu parallèlement aux axes d'élasticité optique. Ce n'est pas d'ailleurs nécessairement pour ces vibrations que l'absorption est maximum ou minimum ; si cela arrive dans la majorité des cas, pour quelques raies, le maximum ou le minimum s'obtient pour des vibrations placées dans le plan de symétrie du cristal, mais faisant des angles divers avec les axes d'élasticité optique ; ces raies se trouvent dans le spectre du néodyme. J'ai cru inutile de reprendre les déterminations de ces directions singulières, qui ont été faites avec grand soin par M. Becquerel.

Pour le sulfate de samarium, les trois spectres principaux paraissent identiques ; ce sel ne présente donc pas le *polychroïsme* d'absorption bien marqué dans le sulfate de néodyme et, mieux encore, dans le sulfate de praséodyme.

Je me suis servi, pour la mesure des longueurs d'onde d'un spectroscope à vision directe, dont le collimateur est mobile à l'aide d'une vis micrométrique à tambour divisé. Les longueurs d'onde peuvent se calculer facilement à

(1) H. Becquerel, *Recherches sur les variations des spectres d'absorption dans les cristaux* (*Ann. de Ch. et Phys.*, 6e série, t. XIV, p. 208 ; 1888).

l'aide des tours et fractions de tours de la vis micrométrique.

La courbe qui donne $\frac{1}{\lambda^2}$ en fonction des tours est voisine d'une droite et se représente très bien par une hyperbole à asymptotes parallèles aux axes des coordonnées. En appelant x le nombre de tours de vis à partir de la position relative à la raie D_1D_2, par exemple, on a :

$$\frac{1}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda_D^2} = \frac{-ax}{b-x}.$$

(D'après la construction de l'instrument, le zéro de la vis correspond à l'extrême violet, donc x est négatif pour les petites longueurs d'onde.)

Voici le tableau d'une observation faite sur une grande étendue du spectre.

Raies	Tours à partir de D_1D_2	Longueurs d'onde vraies	Longueurs d'onde calculées	Différences
a	+ 3,558	718$^{\mu\mu}$,5	718$^{\mu\mu}$,7	— 0,1
B	+ 2,910	686 ,9	687 ,1	— 0,2
Li	+ 2,528	670 ,8	670 ,7	+ 0,1
C	+ 2,154	656 ,3	655 ,9	+ 0,4
(D_1D_2)	»	589 ,3	»	»
Tl	— 2,610	535 ,0	535 ,0	0
*b*¹	— 3,649	518 ,4	518 ,4	0
F	— 6,114	486 ,1	486 ,2	— 0,1
d	— 7,994	466 ,8	466 ,8	0
e	— 11,554	438 ,4	438 ,0	+ 0,4

Les coefficients calculés par la méthode des moindres carrés sont :

$$a = 0{,}000\,012\,797$$
$$b = 51{,}815.$$

Les *différences* sont très petites et peuvent provenir en grande partie des imperfections de la vis.

Cette mesure prouve que l'on pourra, en toute sûreté, mesurer la longueur d'onde de raies voisines de la raie D, par exemple, en prenant leurs distances à cette raie et en même temps celles des raies du lithium et du thallium, et en calculant une formule particulière pour les trois raies Li, D, Tl. De même pour les autres régions du spectre. On évite ainsi une cause d'erreur, trop fréquente dans les mesures spectroscopiques, le déplacement des raies sous l'influence de la température. Ce calcul est évidemment beaucoup plus précis que la construction graphique généralement employée.

Les lames cristallines, normales à la bissectrice obtuse (lames de clivage), ou à la bissectrice aiguë, étaient placées devant la fente du spectroscope, et on concentrait sur elles la lumière d'une forte lampe à pétrole; pour le violet, j'ai employé aussi la lumière Drummond, et répété enfin, dans tout le spectre, les mesures avec la lumière solaire. Devant l'oculaire de la lunette se trouvait un nicol qui, par une rotation de 90°, donnait pour chaque lame les deux spectres principaux; on pouvait donc très facilement comparer les intensités pour une même épaisseur.

Les mesures se sont étendues de la raie B à un peu au delà de la raie G. Dans les tableaux suivants, et dans la planche qui reproduit l'aspect des spectres, je désigne par BA, BO et LM les spectres formés par les vibrations parallèles aux deux bissectrices aiguë et obtuse et à l'axe de moyenne élasticité.

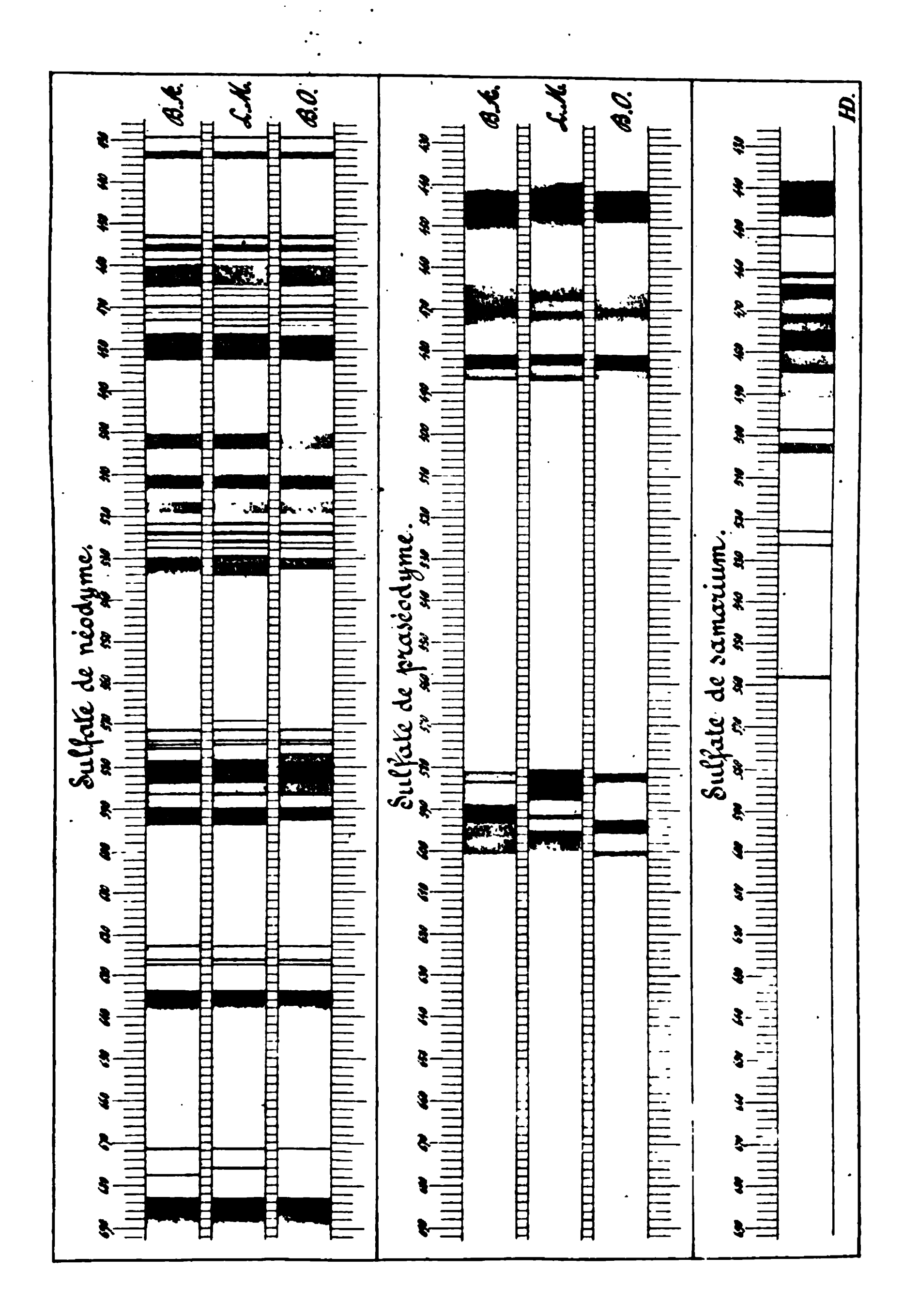
Sulfate de néodyme (1).

Groupe	Vibrations parallèles à : Biss. aiguë BA	Ligne moyenne LM	Biss. obtuse BO	Remarques
	μμ	μμ	μμ	
Groupes du rouge	690,2 à 682,8	689,8 à 682,8	690,2 à 682,8	Bande dégradée vers le rouge ; largeur croissant avec l'épaisseur ($e = 1^{mm},7$). Bord le plus réfrangible net et fixe.
	677,5	»	»	Raie très faible.
	»	676,0	»	Egale à la suivante dans LM.
	671,7	671,6	671,7	Maximum dans BA.
	638,0 à 633,1	638,0 à 633,1	638,0 à 633,1	Bande dégradée vers le rouge. Bord le plus réfrangible net et fixe. Maximum dans BO.
	627,2	627,2	627,2	Egale dans les 3 spectres. Egale aux 2 suivantes dans BA.
	62 ,0	626,0	626,0	Maximum dans LM, minimum dans BO.
	622,5	622,5	622,5	Maximum dans BA, minimum dans BO.
Groupe de l'orangé	593,9 à 589,8	593,9 à 589,8	592,8 à 589,8	Bande dégradée vers le rouge. Maximum net dans BA au bord le plus réfrangible. Minimum dans BO.
	586,3	586,3	586,3	Maximum dans LM ; minimum dans BO.
	583,6	583,6	583,6	Maximum dans BO.
				(Intervalle obscur.)
	581,3	581,3	581,3	Maximum (peu marqué) dans BA.
				(Intervalle obscur).
	»	»	579,1	Maximum dans LM.
	578,7	578,7	»	
	»	»	577,2	
	575,9	»	»	
	574,9	574,9	574,9	Doublet très pâle dans BA. Maximum dans LM.
	574,0	574,0	574,0	
	571,5	571,5	571,5	Raie nette, égale dans les trois spectres.
	»	569,2	»	Raie faible.
Groupe du vert	»	534,2	»	Intervalle obscur avec un maximum un peu diffus (531,9), plus prononcé sur BA. Dans LM, raies fines aux deux bords de la bande. — Dans BO, raies avec intervalle obscur.
	»	»	532,8	
	531,9	531,9	»	
	»	»	530,1	
	»	529,6	»	

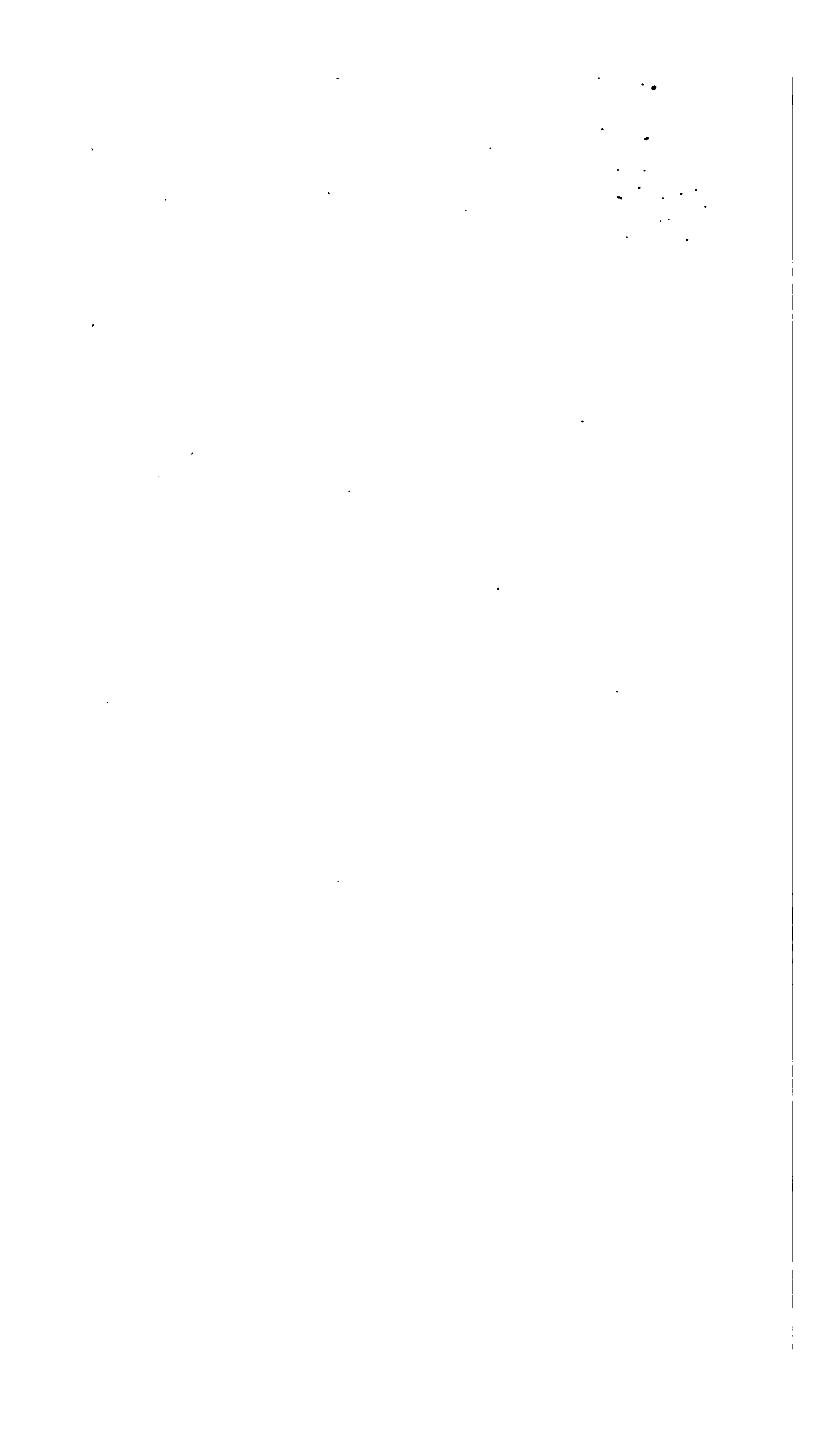
(1) Les groupes du rouge ont été observés sur une plaque de $1^{mm},7$; ils disparaissent dans les plaques minces. Les autres groupes trop sombres dans cet plaque, ont été observés sur des plaques de $0^{mm},4$ environ.

	VIBRATIONS PARALLÈLES A			REMARQUES
	Biss. aiguë BA	Ligne moyenne LM	Biss. obtuse BO	
Groupe du vert (*suite*)	527,8	527,8	527,8	Maximum dans BA ; minimum dans LM.
	526,1	526,1	526,1	Raie faible. Max. dans LM ; min. dans BO.
	524,1	524,1	524,1	Raie très forte. Max. dans BO ; min. dans LM.
	521,8	521,8	521,8	Raie forte dans LM ; très faible dans BO.
	519,5 à 516,4	519,5 à 516,4	519,5 à 516,4	Bande de faible absorption. Minimum peu marqué) dans BO.
	513,8	513.8	513,8	Limite la moins réfrangible d'une bande diffuse.
	512,0	512,0	512,0	Maximum assez net ; moins marqué dans LM.
	510,0	510,0	510,0	Limite la plus réfrangible.
	504,0 à 500,3	504,0 à 500,3	504,0 à 500,3	Bande de faible absorption. Maximum dans BA, minimum dans BO.
	482,8 à 480,8	482,8 à	482,8 à	Dans BA, bande plus sombre, au bord le moins réfrangible d'une bande faible.
	479,2			Raie fine.
		477, 7	477,7	Bande de faible absorption dans LM et BO.
Groupe du violet	477,7 à 476,2	477,7 à 476,2	477,7 à 476,9	Maximum dans LM. Dans BO, moins étendue vers le violet.
	»	474,4	474,4	Nette dans LM ; à peine visible dans BO.
	473,0	473,0	473,0	Maximum dans BO ; minimum dans LM.
	471,3	471,3	471,3	Raie faible.
	469,8	469,8	469,8	Raie forte, très nette ; sensiblement égale dans les trois spectres.
	467,2	467,2	467,2	Raie un peu vague.
	»	465,8	»	
	465,5 à 462,0	465,2 à 460,0	465,2 à 460,0	Large bande, très faible ; limites indécises.
	458,5	458,5	458,5	Faible.
	456,6 à 455,0	456,6 à 455,0	456,6 à 454,8	Bande maximum dans BO.
	453,5 à 452,7	453,5 à 452,7	453,5 à 452,7	Faible ; égale dans les trois spectres.
	434,2 à 432,4	434,2 à 432,4	434,2 à 432,4	Bande égale dans les trois spectres.
	429,0	429,0	429,0	Raie fine, très nette ; égale dans les 3 spectres.

BULL. SOC. FR. DE MINÉRALOGIE T. XXIV



M Dufet



Sulfate de praséodyme.

VIBRATIONS PARALLÈLES A LA BISSECTRICE AIGUË (BA).

$601^{\mu\mu},0$ à $593,0$	Région de faible absorption ; bord rouge dégradé.
$593,0$ à $588,6$	Bande de forte absorption. Bord rouge net et fixe ; bord vert diffus, se déplace quand l'épaisseur augmente [588,6 pour $e = 1^{mm},45$; 590,1 pour $e = 0^{mm},45$].
$583,3$ $581,0$	Raies très fines et pâles. De 588,6 à 581,0, absorption très faible.
$487^{\mu\mu},0$ à $486,6$	Raie faible.
»	Région de faible absorption.
$484,5$ à $481,0$	Bande de forte absorption (minimum).
$474^{\mu\mu},0$ à $472,0$	Absorption très faible. Dégradé sur le bord le moins réfrangible.
$472,0$ à $469,8$	Absorption plus forte. Dégradé sur les 2 bords.
$469,8$ à $463,9$	Absorption très faible. Dégradé sur le bord le plus réfrangible.
$450^{\mu\mu},9$ à $440,4$	Bande faible ; bords dégradés ; augmente de largeur avec l'épaisseur.

VIBRATIONS PARALLÈLES A LA LIGNE MOYENNE (LM)

$599^{\mu\mu},0$ à $595,1$	Bande nette et fixe du côté du vert. Bord rouge dégradé, s'étend vers le rouge quand l'épaisseur augmente.
»	Région de très faible absorption.
$591,6$	Raie un peu large ; forte.
»	Région de très faible absorption.

587$\mu\mu$,7 à 585,0	Bande forte, dégradée vers le rouge.
»	Région d'absorption assez forte.
582,0 à 580,5	Raie forte et large

487$\mu\mu$,3 à 486,1	Bande nette.
»	Région de faible absorption.
483,5 à 481,0	Bande de forte absorption ; plus noire que dans BA et BO.

473$\mu\mu$,3 à 472,3	Faible absorption.
472,3 à 470,6	Absorption plus forte ; bande nette.
»	Faible absorption.
467,9 à 466,9	Raie nette ; un peu moins forte que la précédente.
»	Région de très faible absorption ; dégradée sur le bord le plus réfrangible ; s'étend jusqu'à 464 environ.

450$\mu\mu$,1 à 438,9	Bande faible ; bords dégradés. Augmente de largeur avec l'épaisseur (maximum dans LM)

VIBRATIONS PARALLÈLES A LA BISSECTRICE OBTUSE (BO).

601$\mu\mu$,0 à 599,4	Raie nette.
»	Région de faible absorption.
595,6 à 592,2	Bande forte ; bord rouge net et fixe ; bord vert diffus ($e = 0^{mm},45$).
»	Région de très faible absorption.
583,0 à 581,0	Raie un peu plus forte.

487$\mu\mu$,0 à 484,8	Région de très faible absorption.
484,8 à 481,0	Bande de forte absorption. Plus noire que dans BA.

473$^{\mu\mu}$,5 à 471 ,6	Absorption très faible : dégradé sur le bord le moins réfrangible.
471 ,6 à 470 ,0	Absorption plus forte, moindre que dans BA. Dégradé sur les deux bords.
470 ,0 à 464 ,1	Absorption très faible. Dégradé sur le bord le plus réfrangible.
449$^{\mu\mu}$,2 à 441 ,2	Bande faible, bords dégradés ; augmente de largeur avec l'épaisseur (minimum dans BO).

Sulfate de samarium (1).

558$^{\mu\mu}$,0	Un peu estompée vers le rouge. Probablement doublet très serré, avec composante violette maximum.
526 ,0	Raie fine et nette.
522 ,8	Fine, très faible.
504 ,0 à 501 ,6	Bande de faible absorption.
498 ,6	Raie noire ; un peu large.
490 ,6	Limite la moins réfrangible d'une région de très faible absorption.
484 ,7 à 482 ,8	Bande légèrement diffuse sur les bords.
»	Région de faible absorption.
479 ,6 à 475 ,0	Bande nette sur le bord le moins réfrangible, dégradée du côté le plus réfrangible.
»	Région de faible absorption.
472 ,6 à 470 ,9	Bande nette sur le bord le moins réfrangible, dégradée du côté le plus réfrangible.
»	Région de très faible absorption.
(app.) 467 ,0 à 463 ,4	Bande tout à fait dégradée du côté le moins réfrangible, nette sur le bord le plus réfrangible.
461 ,8 à 460 ,5	Raie forte, dégradée sur le bord le moins réfrangible.
451 ,6	Raie nette, faible.
447 ,4 à 437 ,8	Bande de faible absorption, diffuse sur les bords.

(1) Ces résultats se rapportent à une lame de 2^{mm}, 4 observée avec la lumière Drummond.

Sur l'aimantation des corps cristallisés ;

Par FRÉD. WALLERANT.

On a cru longtemps que les variations de l'aimantation dans les corps cristallisés étaient régies par la loi de l'ellipsoïde ; autrement dit, un champ magnétique uniforme, d'intensité constante, devait déterminer, dans un corps cristallisé, une aimantation telle que si, à partir d'un point, on menait une droite égale et parallèle à cette aimantation, l'extrémité de cette droite décrivait un ellipsoïde, quand la direction du champ variait. La symétrie de cette ellipsoïde était naturellement sous la dépendance de la symétrie du cristal, absolument comme celle de l'ellipsoïde de l'élasticité optique, et, dans un cristal cubique, cet ellipsoïde devenait une sphère ; dans un cristal cubique, la direction de l'aimantation devait donc coïncider avec celle du champ et sa valeur rester constante.

M. Weiss a montré que cette opinion, reposant sur une généralisation hasardée des résultats obtenus en optique était erronée. Etudiant l'aimantation de la magnétite, il constata que pour une même intensité du champ, elle présentait des valeurs différentes suivant les trois sortes d'axes : axes quaternaires, ternaires et binaires. C'est seulement pour les intensités élevées du champ que les aimantations suivant ces trois directions tendent à devenir égales. En outre, opérant sur des disques taillés parallèlement aux plans de symétrie principaux ou non principaux, M. Weiss a mesuré approximativement la projection de l'aimantation sur la direction du champ, celui-ci étant dirigé suivant un rayon du disque. Il a ainsi constaté que la valeur de cette projection variait conformément à la symétrie du disque. Enfin,

dans un disque normal à un axe ternaire, la projection de l'aimantation sur la direction du champ est constante.

Tels sont les résultats que nous possédons sur la question. Ils nous permettent de prévoir que tous les cristaux sont le siège de phénomènes analogues et de comprendre pourquoi il doit être difficile de mettre ces phénomènes en évidence. Dès qu'on arrive à la saturation, l'aimantation de la magnétite ne change pas avec la direction ; or les cristaux étant, en général, peu magnétiques, on atteint la saturation avec des champs très faibles ; il faudrait donc pouvoir mesurer avec assez d'exactitude de très faibles aimantations, pour pouvoir mettre en évidence leurs variations dans un cristal.

Il est dès maintenant établi que, dans la magnétite, l'intensité magnétique varie avec la direction ; le lieu des extrémités des droites représentant cette intensité n'est donc pas une sphère mais une surface possédant les éléments de symétrie du cube qu'il m'a paru intéressant de rechercher.

Dans ce qui va suivre, je ne considérerai pas l'intensité d'aimantation, mais l'induction à l'intérieur du corps magnétique. Cette induction représente une force et, par cela même, s'introduit plus facilement dans les raisonnements que l'intensité d'aimantation au moment de l'unité de volume.

Composantes de l'induction. — Considérons un champ magnétique uniforme et introduisons dans ce champ une sphère d'un corps cubique orienté de telle façon que la direction du champ fasse des angles α, β, γ avec les axes quaternaires du cristal. Une masse magnétique placée dans une pente perpendiculaire à la direction d'aimantation sera soumise à trois forces : l'une provenant des couches magnétiques recouvrant les parois de la fente et égale à $4\pi I$, I étant l'aimantation, la seconde provenant des couches de

glissement et égale à $\frac{4}{3}\pi I$; et la troisième n'est autre que le champ extérieur. La résultante des deux premières est égale $4\pi I - 4\frac{\pi}{3} I = \frac{8}{3}\pi I$; nous l'appelons induction spécifique et nous allons en étudier les variations.

Les composantes de cette induction, suivant les axes de coordonnées sont fonction des composantes du champ et, si l'on prend l'intensité du champ pour unité, fonction de $\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma$.

On développera ces trois fonctions, suivant les puissances croissantes des cosinus, en s'arrêtant aux termes du troisième degré, et on exprimera que le corps possède la symétrie cubique, c'est-à-dire que, pour deux directions du champ symétriques, par rapport à un élément de symétrie du cube, l'induction, tout en conservant la même valeur, prend deux directions symétriques par rapport au même élément.

Le corps possédant un centre, pour deux directions de sens opposés, les composantes devront être égales et de signes contraires, ce qui entraîne la disparition des termes de puissance paire.

Puis on exprimera qu'une permutation, tournant entre $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$, entraîne une semblable permutation entre les trois composantes ; ce qui revient à exprimer que le corps possède des axes ternaires.

Enfin l'axe des z étant un axe quaternaire, si X, Y, Z sont les composantes de l'induction correspondant à la direction $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$, pour la direction $-\cos\alpha$, $-\cos\beta$, $\cos\gamma$, elles devront prendre les valeurs $-X$, $-Y$, Z ; et pour la direction $\cos\beta$, $-\cos\alpha$, $\cos\gamma$, elles devront être égales à Y, $-X$, Z, et cela, quels que soient α, β, γ.

En exprimant ainsi que l'induction satisfait à la symétrie

du cube, on obtient, pour ses composantes, les expressions :

$$X = R \cos\alpha\ (1 + K \cos 2\alpha)$$
$$Y = R \cos\beta\ (1 + K \cos 2\beta)$$
$$Z = R \cos\gamma\ (1 + K \cos 2\gamma).$$

Il suffirait d'ajouter respectivement à chacune de ces expressions $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$, pour avoir les composantes de l'induction totale.

Vérification. — Avant d'aller plus loin, il nous faut vérifier si les valeurs données par ces expressions concordent bien avec les résultats expérimentaux obtenus par M. Weiss.

Une première vérification nous sera fournie par les déterminations de l'induction suivant les axes quaternaires, ternaires et binaires. Dans les formules précédentes, R représente l'induction suivant un axe binaire. Et si nous désignons par Q et T les inductions suivant les axes quaternaires et ternaires, elles nous donnent :

$$Q = R\ (1 + K),$$
$$T = R\,\frac{3 - K}{3},$$

et par suite :

$$3T + Q = 4R.$$

Or, dans un champ sensiblement égal à 77 cgs, M. Weiss a obtenu les valeurs suivantes :

$$T = 347, \qquad Q = 271, \qquad R = 323,$$

et la formule précédente nous donne :

$$R = \frac{3T + Q}{4} = \frac{3 \times 347 + 271}{4} = 325.$$

De même, dans un champ égal à 327 cgs, on a :

$$T = 418, \qquad Q = 365, \qquad R = 403,$$

tandis que la formule donne $R = 404$.

La concordance est parfaite entre les résultats du calcul et ceux de l'expérience.

Une autre confirmation, d'ordre qualitatif, si je puis m'exprimer ainsi, est tiré de l'étude de l'induction dans des disques parallèles aux faces de l'octaèdre, du rhombododécaèdre et du cube.

La projection de l'induction sur la direction du champ a pour expression :

$$B' = X \cos\alpha + Y \cos\beta + Z \cos\gamma$$
$$= R + RK (\cos^2\alpha \cos 2\alpha + \cos^2\beta \cos 2\beta + \cos^2\gamma \cos 2\gamma).$$
$$B' = R + RK (\cos\alpha + \cos\beta + \cos\gamma)$$
$$(\cos\alpha - \cos\beta - \cos\gamma)(\cos\alpha + \cos\beta - \cos\gamma)(\cos\alpha - \cos\beta + \cos\gamma).$$

Sous cette dernière forme, nous voyons que, pour toute direction du champ située dans une face de l'octaèdre, l'un des facteurs du second terme est nul et la projection B' de l'induction est constante et égale à R, conformément aux observations de M. Weiss.

Dans la face du cube, la valeur de cette projection est donnée par l'équation :

$$B' = R + RK \cos^2 2\alpha.$$

Cette équation représente une courbe ayant pour axes de symétrie les axes quaternaires et binaires situés dans la face considérée. En outre, le rayon vecteur de cette courbe présente, si K est négatif, un maximum suivant les axes binaires et un minimum suivant les axes quaternaires.

Autrement dit la courbe est identique à celle obtenue par M. Weiss pour la variation de la projection dans la magnétite.

On ferait la même constatation pour la face du rhombododécaèdre.

Les formules auxquelles nous sommes arrivés plus haut représentent donc le phénomène de la variation de l'aimantation, en tant qu'il est connu aujourd'hui, avec la plus complète exactitude, et nous pouvons espérer tirer de la discussion de ces formules des résultats intéressants relativement aux propriétés des cristaux.

Discussion. — Les formules donnant les composantes de l'induction :

$$X = R\,(1 + K \cos 2\alpha) \cos \alpha$$
$$Y = R\,(1 + K \cos 2\beta) \cos \beta$$
$$Z = R\,(1 + K \cos 2\gamma) \cos \gamma,$$

nous montrent qu'en général l'induction n'est pas parallèle au champ extérieur; le parallélisme ne sera réalisé pour toutes les directions que dans le cas où le coefficient K sera suffisamment petit vis-à-vis de l'unité pour être négligé. Alors, en effet, l'induction sera parallèle au champ et elle sera constante pour toutes les directions.

Dans le cas général, l'induction ne sera parallèle au champ que quand celui-ci sera lui-même parallèle aux axes de symétrie du cristal; elle sera, dans ce cas, soit un maximum, soit un minimum.

Il est encore à remarquer que si R est différent de zéro, l'induction ne pourra être nulle que suivant les axes ternaires et les axes quaternaires, lorsque K sera égal à 1 pour ces derniers axes, et lorsque K sera égal à 3 pour les premiers.

Des formules précédentes on peut naturellement tirer la

valeur de l'induction B, et de celle de ses cosinus directeurs : on a :

$$B^2 = R^2 [\cos^2 \alpha (1 + K \cos 2\alpha)^2 + \cos^2 \beta (1 + K \cos 2\beta)^2 + \cos^2 \gamma (1 + K \cos 2\gamma)^2]$$

et :

$$\cos \alpha' = \frac{R \cos \alpha (1 + K \cos 2\alpha)}{B}.$$

Valeurs du coefficient K. — Comme il a été dit plus haut, quand l'intensité du champ augmente, le coefficient K diminue. On a, en effet, $K = \frac{Q - R}{R} = 3 \frac{R - T}{R}$ et, par suite, dans la magnétite, pour un champ égal à 77 c. g. s., $K = -\frac{1}{6}$, et, pour un champ égal à 327 c. g. s., $K = -\frac{1}{10}$. D'une façon générale, il résulte des mesures de M. Weiss que, lorsque l'intensité du champ augmente, les trois quantités. Q, T, R tendent vers la même valeur, et que, par suite, le coefficient tend vers zéro. Par conséquent, pour les champs d'intensité élevée, l'induction peut être considérée comme constante et comme parallèle au champ. Mais il est impossible, dans l'état de nos connaissances, d'établir une formule même empirique entre le coefficient et la valeur du champ.

Surface des inductions parallèles. — Nous avons vu que la composante de l'induction, parallèle au champ était donnée par l'expression :

$$B' = \rho = R + RK (\cos^2 \alpha \cos 2\alpha + \cos^2 \beta \cos 2\beta + \cos^2 \gamma \cos 2\gamma).$$

Si nous considérons B' comme un rayon vecteur ayant pour cosinus directeurs $\cos \alpha$, $\cos \beta$, $\cos \gamma$, cette équation

représente une surface ayant les éléments de symétrie du cube et à laquelle nous donnons le nom de surface des inductions parallèles.

Pour discuter cette surface, je ferai d'abord remarquer que les longueurs des rayons vecteurs parallèles aux axes de symétrie sont des maxima ou des minima, suivant la valeur des coefficients et, en second lieu, que les sections diamétrales perpendiculaires sur les axes ternaires sont des sections circulaires.

Pour nous rendre compte de la forme de cette surface, il suffit évidemment d'étudier les sections faites par les plans de symétrie principaux et les plans de symétrie non principaux. Occupons-nous des premiers.

L'équation de la section est :

$$\rho = R\,(1 + K\cos^2 2\alpha).$$

Cette courbe a pour axes de symétrie les axes quaternaires

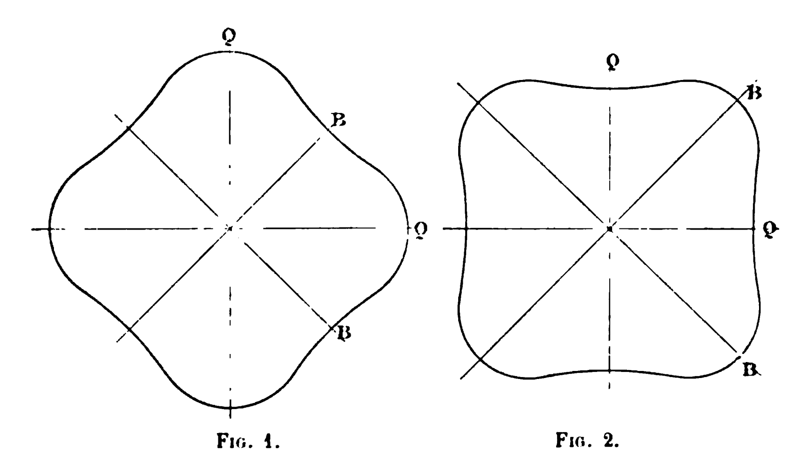


Fig. 1. Fig. 2.

et les axes binaires situés dans le plan de la section, et les

rayons vecteurs correspondant à ces axes sont des maxima et des minima.

Si K est plus grand que — 1, ρ ne s'annule pour aucune valeur de α. Pour $\alpha = 0$, on a $\rho = R(1 + K)$ et pour $\alpha = 45°$, $\rho = R$; si K est positif, la première est un maximum et la seconde est un minimum; c'est l'inverse qui a lieu quand K est négatif. La courbe a une des formes ci-jointes (*fig.* 1 et *fig.* 2). Cette dernière est la courbe de la magnétite.

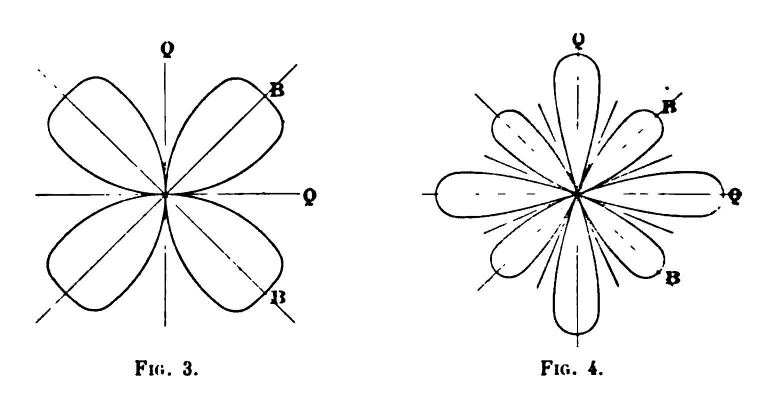


Fig. 3. Fig. 4.

Si $K = -1$, ρ s'annule pour $\alpha = 0$, et la courbe a la forme d'un trèfle à quatre feuilles (*fig.* 3). Enfin $K < -1$ ρ s'annule pour la valeur de α, donnée par l'égalité $\cos^2 2\alpha = -\frac{1}{K}$, et elle a la forme d'un trèfle à huit feuilles (*fig.* 4).

La section faite par un plan de symétrie non principal a pour équation :

$$\rho = R\left[1 + K\cos^2\gamma\,(1 - 3\sin^2\gamma)\right].$$

γ étant l'angle du rayon vecteur avec l'axe quaternaire. Elle a pour axes de symétrie cet axe quaternaire ainsi que l'axe

binaire, et elle présente des rayons maxima ou minima, suivant ces axes, ainsi que suivant l'axe ternaire.

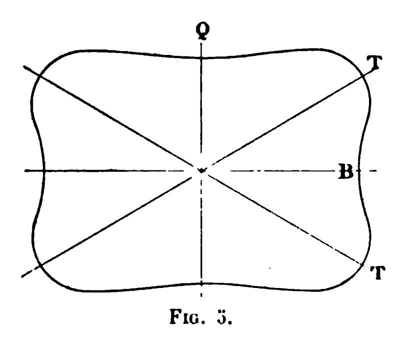


Fig. 5.

Il est inutile de discuter l'équation de cette courbe, discussion qui ne présente aucune difficulté. Il a été représenté ci-joint (*fig.* 5) la courbe correspondant au cas ou $-1 < K < o$, qui est celui de la magnétite.

Cônes d'égale induction parallèle. — Si l'induction parallèle prend une valeur B' pour une direction du champ, non seulement elle reprend cette valeur pour les vingt-trois directions symétriques de la direction donnée, mais encore pour toutes les génératrices d'un cône ayant pour équation :

$$\cos^2\alpha \cos 2\alpha + \cos^3\beta \cos 2\beta + \cos^2\gamma \cos 2\beta = C,$$

et passant par la direction donnée du champ. Nous le nommerons cône d'égale induction parallèle.

Il est facile de voir entre quelles limites doit varier la constante C pour que ce cône soit réel.

L'équation peut, en effet, se mettre sous la forme :

$$\cos^4\alpha + \cos^4\beta + \cos^4\gamma = \frac{C+1}{2}.$$

Or la valeur maximum du premier membre est l'unité : on doit donc avoir $\frac{C+1}{2} \leqq 1$, c'est-à-dire $C \leqq 1$, et la valeur minimum du premier membre étant $\frac{1}{3}$, il faut que $\frac{C+1}{2} \geqq \frac{1}{3}$ ou $C \geqq -\frac{1}{3}$.

Mais ces cônes peuvent prendre deux formes différentes, suivant que C est plus grand ou plus petit que zéro.

L'équation peut, en effet, s'écrire :

$$(\cos\alpha + \cos\beta + \cos\gamma)(\cos\alpha - \cos\beta - \cos\gamma)(\cos\alpha + \cos\beta - \cos\gamma)$$
$$(\cos\alpha - \cos\beta + \cos\gamma) = C.$$

Les quatre facteurs du premier membre représentent les quatre plans perpendiculaires sur les axes ternaires et pas-

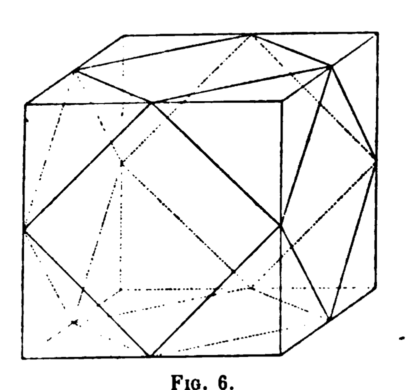


Fig. 6.

sant par le centre. Ils limitent, d'une part, trois pyramides à quatre faces, les quatre faces de chacune d'elles coupant une même face du cube, suivant les droites joignant les milieux des côtés ; d'autre part, ils limitent quatre pyramides à trois faces, les faces de chaque pyramide coupant

trois faces différentes du cube, suivant les mêmes droites que précédemment (*fig.* 6). Par conséquent, pour que le premier membre conserve le même signe que C, toutes les génératrices devront se trouver soit dans les trois premières pyramides, et le cône aura trois nappes, soit dans les quatre autres pyramides, et le cône aura quatre nappes. Le passage de l'une des formes à l'autre se fait par l'intermédiaire des quatre plans correspondant à la valeur $C = 0$.

L'étude de ces cônes amène à constater plusieurs propriétés intéressantes résultant des théorèmes suivants :

Théorème. — Le plan passant par la direction du champ et par l'induction est normal au cône d'égale induction parallèle contenant la direction du champ.

Les cosinus directeurs de l'axe du plan passant par le champ et l'induction doivent satisfaire aux conditions :

$$\cos\alpha' \cos\alpha + \cos\beta' \cos\beta + \cos\gamma \cos\gamma' = 0$$

$$\cos\alpha' \cos\alpha\,(1 + K\cos 2\alpha) + \cos\beta' \cos\beta\,(1 + K\cos 2\beta) + \cos\gamma' \cos\gamma\,(1 + K\cos 2\gamma) = 0.$$

En tenant compte de la première, cette seconde condition devient :

$$\cos\alpha' \cos^3\alpha + \cos\beta' \cos^3\beta + \cos\gamma' \cos^3\gamma = 0.$$

On a donc :

$$\frac{\cos\alpha'}{\cos\gamma \cos\beta\,(\cos^2\gamma - \cos^2\beta)} = \frac{\cos\beta'}{\cos\alpha \cos\gamma\,(\cos^2\alpha - \cos^2\gamma)} = \frac{\cos\gamma'}{\cos\beta \cos\alpha\,(\cos^2\beta - \cos^2\alpha)}.$$

D'autre part, le plan tangent au cône d'égale induction

parallèle suivant la génératrice α, β, γ, a pour équation :

$$\frac{C+1}{2}(x\cos\alpha+y\cos\beta+z\cos\gamma)-(x\cos^3\alpha+y\cos^3\beta+z\cos^3\gamma)=0.$$

Ce dernier plan passe donc par l'axe du premier et lui est, par suite, perpendiculaire. Quant à l'axe de ce plan tangent, axe perpendiculaire sur le champ et situé dans le plan passant par le champ et par l'induction, ses cosinus directeurs sont déterminés par les égalités :

$$\frac{\cos\alpha''}{\cos\alpha\left(\frac{C+1}{2}-\cos^2\alpha\right)}=\frac{\cos\beta''}{\cos\beta\left(\frac{C+1}{2}-\cos^2\beta\right)}=\frac{\cos\gamma''}{\cos\gamma\left(\frac{C+1}{2}-\cos^2\gamma\right)}$$

avec la condition :

$$\frac{C+1}{2}=\cos^4\alpha+\cos^4\beta+\cos^4\gamma.$$

Théorème. — Un plan tangent à un cône d'égale induction parallèle coupe la surface des inductions parallèles suivant une courbe, dans laquelle la génératrice de contact du plan est un rayon maximum ou minimum.

Cherchons les maximum et minimum des rayons vecteurs de la surface des inductions parallèles, situés dans un plan dont l'axe a pour cosinus directeurs $\cos\alpha''$, $\cos\beta''$, $\cos\gamma''$.

Si $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$ sont les cosinus directeurs du rayon vecteur, on aura les relations :

$$\cos\alpha\cos\alpha''+\cos\beta\cos\beta''+\cos\gamma\cos\gamma''=0$$
$$\cos^2\alpha+\cos^2\beta+\cos^2\gamma=1$$

et en différentiant :

$$\cos\alpha''d\cos\alpha+\cos\beta''d\cos\beta+\cos\gamma''d\cos\gamma=0$$
$$\cos\alpha\, d\cos\alpha+\cos\beta\, d\cos\beta+\cos\gamma\, d\cos\gamma=0$$

Or les valeurs maxima et minima seront données par l'égalité :

$$d\rho = 8RK\,(\cos^3\alpha\, d\cos\alpha + \cos^3\beta\, d\cos\beta + \cos^3\gamma\, d\cos\gamma) = 0,$$

et, en remplaçant les différentielles par leurs valeurs tirées des deux précédentes équations, on obtient l'équation :

$$\cos\alpha''\cos\beta\cos\gamma(\cos^2\gamma-\cos^2\beta)+\cos\beta''\cos\alpha\cos\gamma(\cos^2\alpha-\cos^2\gamma)$$
$$+\cos\gamma''\cos\alpha\cos\beta\,(\cos^2\beta-\cos^2\alpha)=0,$$

qui, jointe à l'équation :

$$\cos\alpha\cos\alpha''+\cos\beta\cos\beta''+\cos\gamma\cos\gamma''=0,$$

permet de calculer les valeurs de $\cos\alpha''$, $\cos\beta''$, $\cos\gamma''$, pour lesquelles le rayon vecteur ayant $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$ pour cosinus directeurs, est un maximum ou un minimum. On obtient ainsi en tenant compte de l'égalité :

$$\frac{C+1}{2}=\cos^4\alpha+\cos^4\beta+\cos^4\gamma$$

$$\frac{\cos\alpha''}{\cos\alpha\left(\frac{C+1}{2}-\cos^2\alpha\right)}=\frac{\cos\beta''}{\cos\beta\left(\frac{C+1}{2}-\cos^2\beta\right)}=\frac{\cos\gamma''}{\cos\gamma\left(\frac{C+1}{2}-\cos^2\gamma\right)}$$

qui sont bien les cosinus directeurs du plan tangent suivant la génératrice α, β, γ au cône d'égale induction parallèle.

Théorème. — Les diamètres maxima et minima de la courbe d'intersection par un plan de la surface des inductions parallèles sont des axes de moyenne distance perpendiculaire sur leur direction conjuguée par rapport aux projections sur le plan des axes ternaires de la surface, et des axes de moyenne harmonique perpendiculaire sur leur

direction conjuguée par rapport aux traces des sections circulaires.

L'équation de la surface des inductions parallèles peut s'écrire :

$$\rho = R + RK (\cos\alpha + \cos\beta + \cos\gamma) (\cos\alpha - \cos\beta - \cos\gamma) (\cos\alpha + \cos\beta - \cos\gamma) (\cos\alpha - \cos\beta + \cos\gamma)$$

ou :

$$\rho = R + 9RK \cos\lambda \cos\mu \cos\nu \cos\pi.$$

λ, μ, ν, π étant les angles du rayon vecteur avec les axes ternaires.

Or, en désignant par a, b, c, d, les angles que fait la normale au plan de section avec les axes ternaires et par λ', μ', ν', π', les angles d'un rayon vecteur situé dans ce plan avec les projections des axes ternaires, on a les relations :

$$\cos\lambda = \sin a \cos\lambda'$$
$$\cos\mu = \sin b \cos\mu'$$

et, par suite :

$$\rho = R + 9RK \sin a \sin b \sin c \sin d \cos\lambda' \cos\mu' \cos\nu' \cos\pi'.$$

Les maxima et les minima sont donc donnés par l'égalité :

$$\cos\lambda' \cos\mu' \cos\nu' \cos\pi' (\tan\lambda' d\lambda' + \tan\mu' d\mu' + \tan\nu' d\nu' + \tan\pi' d\pi') = 0.$$

Or les angles λ', μ', ν', π' étant comptés dans le même plan, on a évidemment $d\lambda' = d\mu' = d\nu' = d\pi'$; on doit donc avoir :

$$\tan\lambda' + \tan\mu' + \tan\nu' + \tan\pi' = 0$$

égalité qui démontre la première partie du théorème. La seconde résulte également de cette égalité en remarquant que les angles intervenant sont complémentaires des précédents.

Or il est facile de voir que, relativement à un faisceau de quatre droites, il existe quatre axes de moyennes distances perpendiculaires à leur direction conjuguée. Il en résulte le théorème suivant.

Théorème. — Si l'on considère toutes les directions d'un plan comme direction du champ, il en existe quatre pour lesquelles la projection de l'induction sur le plan coïncide avec la direction du champ.

Cristaux diamagnétiques et paramagnétiques. — Parmi les cônes d'égale induction parallèle, il en est un particulièrement intéressant : il correspond à la valeur $C = -\frac{1}{K}$, pour laquelle l'induction parallèle est nulle. Pour que ce cône soit réel, il faut que K soit plus petit que -1 ou plus grand que 3; conditions qui peuvent s'exprimer en fonctions de Q, R et T, puisque l'on a :

$$K = \frac{Q - R}{R} = 3\,\frac{R - T}{R}.$$

En supposant $R > o$, ce qui est toujours possible, la première condition :

$$\frac{Q - R}{R} = 3\,\frac{R - T}{R} < -1,$$

se réduit à

$$Q > o \qquad \text{ou} \qquad T > \frac{4}{3} R,$$

et la seconde

$$\frac{Q - R}{R} = \frac{3R - 3T}{R} > 3,$$

donne

$$Q > 4R \quad \text{ou} \quad T < o.$$

Quand le champ est dirigé suivant l'une des génératrices de ce cône, l'induction parallèle est nulle, c'est-à-dire que l'induction est normale sur le champ. Quand la direction du champ est comprise à l'intérieur du cône, l'induction parallèle est de même sens que le champ, et le corps est paramagnétique; au contraire, pour une direction extérieure au cône, l'induction parallèle est de sens contraire au champ, et le corps est diamagnétique.

Mais il ne faut pas oublier que le coefficient K étant généralement très petit, plus petit que l'unité en valeur absolue, le cas d'un corps paramagnétique suivant certaines directions, et diamagnétiques suivant d'autres, doit être très rare, si même il se rencontre.

Composante de l'induction normale au champ. — Nous avons donné plus haut les cosinus directeurs des deux normales au champ, l'une située dans le plan d'induction, l'autre normale au plan. La composante suivant cette dernière est nulle, et il peut être utile de connaître la composante suivant la première normale, puisque, avec la composante parallèle, elle définit l'induction.

Comme il est facile de s'en assurer, la valeur de cette composante normale B″ est donnée par l'égalité :

$$B'' = 2KR\sqrt{\cos^6\alpha + \cos^6\beta + \cos^6\gamma - (\cos^4\alpha + \cos^4\beta + \cos^4\gamma)^2}.$$

Ayant ainsi traité avec des développements suffisants, le

cas des cristaux cubiques holoédriques, je me contenterai maintenant de donner les formules des composantes de l'induction, laissant aux personnes intéressées le soin de les discuter.

Cristaux cubiques hémiaxes centrés. — Il est facile de voir que, dans ce cas, les trois composantes de l'induction, suivant les trois axes binaires résultant de la réduction des axes quaternaires, sont :

$$X = R \cos\alpha \,(1 + K \cos^2\beta + K_1 \cos^2\gamma)$$
$$Y = R \cos\beta \,(1 + K \cos^2\gamma + K_1 \cos^2\alpha)$$
$$Z = R \cos\gamma \,(1 + K \cos^2\alpha + K_1 \cos^2\beta)$$

Quant à la surface des inductions parallèles, elle est représentée par l'équation :

$$B' = R + R(K + K_1)(\cos^2\alpha \cos^2\beta + \cos^2\gamma \cos^2\alpha + \cos^2\gamma \cos^2\beta).$$

Elle est donc identique à la surface des inductions parallèles dans les cristaux holoédriques, ainsi que les cônes d'égale induction parallèle.

Cristaux quadratiques holoédriques. — En prenant pour axe des z l'axe quaternaire et pour axe des x et des y deux axes binaires, on obtient pour les composantes de l'induction les trois expressions :

$$X = A \cos\alpha \,[1 + K \cos^2\alpha + K' \cos^2\beta]$$
$$Y = A \cos\beta \,[1 + K' \cos^2\alpha + K \cos^2\beta]$$
$$Z = C \cos\gamma \,[1 + K_1 \cos^2\gamma]$$

renfermant cinq coefficients arbitraires.

Cristaux rhomboédriques holoédriques. — Si l'on prend pour axe des z, l'axe ternaire, pour axe des y, un axe binaire et pour axe des x la perpendiculaire commune, on

obtient pour les trois composantes, les valeurs :

$$X = A \cos\alpha\,(1 + K \cos^2\gamma) + B \cos\gamma\,(\cos^2\alpha - \cos^2\beta)$$
$$Y = A \cos\beta\,(1 + K \cos^2\gamma) - 2B \cos\alpha \cos\beta \cos\gamma$$
$$Z = C \cos\gamma\,(1 + K_1 \cos^2\gamma) + D \cos\alpha\,(3 \cos^2\beta - \cos^2\alpha).$$

Ces formules nous montrent que C, D et, par suite, la composante Z, peut être suffisamment petite vis-à-vis des deux autres composantes pour être négligeable dans la pratique.

Dans ce cas, quelle que soit la direction du champ, l'induction sera toujours perpendiculaire sur l'axe ternaire ; si le champ est lui-même perpendiculaire sur cet axe, l'induction lui est parallèle et constamment égale à A. Enfin, si le champ est dirigé suivant l'axe, l'induction est nulle.

Toutes ces particularités se retrouveraient, d'après M. Weiss, dans la pyrrhotine. Mais, sans vouloir rien affirmer, les particularités assez singulières, que j'ai eu l'occasion d'observer dans des sphères de ce minéral, me porteraient à croire à une complexité plus marquée dans ce phénomène.

Sur les gisements stannifères de Hin-Boun (Laos) ;

Par M. A. Lacroix.

Une Compagnie française fait depuis peu des recherches sur un gisement stannifère, exploité de longue date, avec des moyens primitifs, par des indigènes du Laos, dans la province de Cammoun. Je dois à M. Rueff une série d'échantillons provenant de ces gisements, qui ont un haut intérêt minéralogique, car ils me paraissent indiquer que la cassité-

rite de cette région se trouve dans des conditions géologiques et génétiques très différentes de celles dans lesquelles on est habitué à rencontrer la cassitérite.

Le gisement en question se trouve dans la vallée du Nam-Pathène, affluent du Hin-Boun, qui est lui-même l'un des affluents de gauche du Mékong. La mine porte le nom de Hin-Boun.

Le minerai est extrait à flanc de coteau dans une région calcaire, dépourvue de roches éruptives; il paraît n'être pas en place; mais il est peu roulé, et il est probable que les travaux en cours d'exécution feront trouver à proximité le gite en place dont ils proviennent.

Le minerai est constitué par une limonite, tantôt caverneuse, tantôt compacte ou concrétionnée, dans laquelle on ne voit guère, à l'état disséminé, que quelques cristaux prismatiques de quartz; c'est là le minerai pauvre. Le minerai riche est formé par une masse très cristalline d'un beau jaune, très dense, constituée par des aiguilles de cassitérite et de quartz, imprégnées de limonite.

Le traitement de ce minerai par l'acide chlorhydrique bouillant m'a permis de purifier la cassitérite, qui apparaît alors sous forme de cristaux, atteignant rarement 1 millimètre, ou des masses constituées par l'enchevêtrement de ces cristaux. Ils sont d'un gris jaunâtre et se montrent, au microscope, très transparents; leur éclat est très vif et adamantin; mais leurs faces sont rarement planes; elles sont creusées de cavités comme celles des cristaux extraits d'un calcaire par l'action d'un acide. La limonite les incruste donc profondément.

Ces cristaux de cassitérite sont très allongés, suivant l'axe vertical; ils présentent les formes m, $b^{1/2}$, avec fréquemment le dioctaèdre a_5 (321) qui prend souvent un très grand développement et donne aux cristaux l'aspect bien connu du

need-tin-ore du Cornwall. Les macles suivant a^1 (101) sont remarquablement peu nombreuses et toujours binaires.

Pour obtenir de jolis cristaux, il est nécessaire de traiter par l'acide chlorhydrique la limonite pauvre en cassitérite, dans laquelle les cristaux de ce minéral sont clairsemés et par suite plus nets. Ils se groupent fréquemment en rosettes et sont presque transparents, quand ils sont très petits; ils ne sont ni roulés ni brisés, et sont incontestablement en place dans la limonite.

Examinés au microscope, ces cristaux se montrent très irrégulièrement colorés. Leur périphérie est souvent incolore, alors que leur centre est coloré de jaune ou de brun, avec pléochroïsme très net. La structure est zonée ou en sablier.

Dans aucun échantillon, je n'ai vu la cassitérite englobée par du quartz massif, mais ce minéral l'accompagne en cristaux, eux aussi automorphes et dispersés dans la limonite.

Dans les lames minces, le minerai riche se montre constitué par un enchevêtrement miarolitique, de baguettes automorphes de cassitérite, çà et là moulées par quelques cristaux de quartz bipyramidés ; la limonite tapisse les cavités, mais paraît être un minéral de suintement et ne constitue pas d'épigénies en place.

Aucun des satellites habituels de la cassitérite : topaze, mica, apatite, wolfram, etc., ne se rencontre dans ce gisement. La limonite y est sans aucun doute d'origine pseudomorphique, et elle occupe probablement la place de pyrite, dont cependant je n'ai rencontré aucune trace, ni à l'état intact, ni sous forme de cristal pseudomorphisé, ce qui n'est d'ailleurs pas très étonnant, tous les échantillons provenant de la surface.

Tous ces faits semblent indiquer que la cassitérite de Hin-Boun se trouve à l'état de minéral primaire dans le chapeau

de fer d'un gîte sulfuré analogue à celui de Campliglia, en Toscane, récemment étudié par M. Bergeat (1).

La comparaison s'impose aussi avec des filons sulfurés et en même temps antimoniés, analogues de Potosi, en Bolivie, car les analyses de l'étain brut extrait du minerai de Hin-Boun indiquent l'existence de près de 4 0/0 d'antimoine et d'un peu de plomb.

Sur quelques cas de production d'anatase par voie secondaire ;

Par M. A. Lacroix.

L'étude microscopique des roches montre que l'anatase se produit parfois par la décomposition de divers minéraux titanifères (2). La formation de ce minéral en cristaux suffisamment gros pour pouvoir être vus sans le secours du microscope est tellement rare qu'il me paraît utile d'appeler l'attention sur les deux observations suivantes.

Formation de sphène aux dépens d'ilménite.

Von Lasaulx a signalé (3) l'association de l'anatase au rutile dans les gneiss des environs de Vannes (anses de Conleau, de Salins) sans pouvoir préciser les relations mutuelles des deux minéraux. J'ai pu résoudre cette question à l'aide de quelques échantillons que m'a remis M. de Limur.

(1) *Neues Jahrb*, 1901, I, 132.

(2) Aux gisements que j'ai signalés dans ce *Bulletin* (t. XIV, p. 191), je puis ajouter les diorites d'Eup. près Saint-Béat (Haute Garonne), dans lesquelles les cristaux microscopiques d'anatase ($p\ b^{1/2}$) abondent à la surface et au voisinage des grands cristaux de sphène.

(3) *Zeitsch. für Krystall.*, VIII, 54, 1883.

Le rutile qui les constitue est recouvert d'une croûte de cristaux d'anatase fort brillants, mais extrêmement petits. Des lames minces, taillées dans ces échantillons, montrent que l'anatase se présente en cristaux $pb^{1/2}$, aplatis suivant la base et implantés sans ordre dans les cavités de corosion du rutile. Dans beaucoup de préparations, on voit que le rutile est transformé en partie en ilménite, et il est évident que c'est aux dépens de ce dernier minéral que s'est produite l'anatase. Nous ne nous trouvons donc pas en présence d'une paramorphose de rutile en anatase, ce qui serait du reste contraire à tout ce que l'on sait sur l'histoire de ces deux minéraux. Le rutile est en effet, dans les conditions naturelles, la forme la plus stable de l'oxyde de titane; on connait des paramorphoses de brookite et d'anatase en rutile, alors que l'inverse n'a jamais été observé.

Le phénomène s'est donc effectué en deux temps : il y a eu d'abord transformation du rutile en ilménite par fixation de fer, puis transformation d'ilménite en anatase par disparition du fer.

Le minéral décrits par M. de Limur sous le nom d'*hydrorutile* consiste en enduits jaune d'ocre recouvrant les clivages du rutile du même gisement. L'examen microscopique fait voir qu'il est également constitué par de l'antase implanté sous une trame d'ilménite corrodée enveloppant des ilots de rutile intact.

Formation d'anatase aux dépens de sphène.

A. Müller a décrit autrefois des pseudomorphoses de sphène ou brookite provenant de Sainte-Marie-aux-Mines ; j'ai pu récemment, grâce à l'obligeance de M. Lesslin, étudier

(1) *Verhandl. d. naturforsch. Gesell. Basel.* ; 1855.73.

quelques-uns des échantillons recueillis dans ce gisement par le père de celui-ci, qui avait fourni à Müller les éléments de son étude. Le minéral titanifère qui les constitue n'est pas de la brookite, mais de l'anatase.

Les cristaux de sphène que j'ai examinés sont englobés dans de la pseudophite; ils sont devenus ternes et tendres; l'un d'eux est en partie recouvert de lamelles très éclatantes d'un noir bleuâtre, appliquées sur ses faces extérieures Çà et là, on observe la tranche de lames semblables, noyées au milieu d'une matière blanchâtre; elles sont implantées à peu près normalement aux faces du sphène. Dans un autre échantillon, les cristaux de sphène sont d'un gris bleu; leur cassure laisse voir de petits cristaux lamelleux d'un bleu de lavande pâle, distribués sans ordre.

Toutes ces pseudomorphoses sont extrêmement fragiles et tendres. Il suffit de les gratter avec une aiguille pour en détacher une poussière cristalline, en partie formée par des produits micacés, et en partie par de petites lames d'un bleu foncé par transparence, ne donnant que les réactions de l'acide titanique. Leur examen au microscope fait voir qu'elles sont quadratiques, aplaties suivant la base, dont les angles sont quelquefois tronqués par une petite facette, parallèlement à l'intersection de laquelle se trouvent de fines stries. Dans quelques cas, ces facettes prennent un large développement; elles sont alors très striées; fréquemment, comme cela a lieu si souvent dans les cristaux d'anatase, une ou deux de ces facettes sont beaucoup plus développées que les autres, donnant ainsi aux cristaux un faciès dissymétrique. Ces faces striées correspondent certainement à plusieurs octaèdres, les uns extrêmement surbaissés, les autres, au contraire, assez aigus; il n'y a pas, du reste, possibilité de les mesurer. Enfin quelques-unes de ces lamelles portent l'indication de dioctaèdres.

A côté de ces cristaux lamelleux d'anatase, se rencontrent quelques cristaux très petits fournis par l'octaèdre aigu $b^{1/2}$. Ils sont colorés en jaune.

Au microscope, les lames, couchées bien à plat sur p, sont monoréfringentes ; elles permettent de voir en lumière convergente une croix noire (se disloquant un peu parfois), avec signe négatif.

C'est probablement à une origine semblable qu'il y a lieu de rapporter de curieux échantillons provenant de la mine de galène de Grand-Clot, aux environs de la Grave, (Hautes-Alpes) que m'a communiqués M. de la Durandière. Des cristaux de sphène sont creusés d'une cavité au milieu de laquelle se trouve un cristal unique d'anatase ($b^{1/2}$) ; bien que ces deux minéraux se trouvent aussi dans ce gisement en cristaux indépendants, leur mode d'association dans les échantillons étudiés est tel qu'il n'est guère douteux que l'anatase n'y soit d'origine secondaire.

Sur quelques minéraux des environs de Brassac (Tarn) ;

Par M. H. Arsandaux.

De Bouchepoin signale, dans l'explication de la carte géologique du Tarn (1848. 15), l'existence de cristaux de tourmaline noire dans les filonnets de granulite qui se trouvent sur les hauteurs dominant, au sud, la ville de Brassac : « Les cristaux, dit-il, atteignent plusieurs centimètres de diamètre et sont généralement très nets ; de petits cristaux de tourmaline rose, ainsi que des grenats, auraient été trouvés dans le même gisement. »

M. A. Lacroix, qui a cité cette observation dans sa *Miné-*

ralogie de la France, m'a engagé à rechercher ce gisement. Voici les résultats de mon étude.

Les hauteurs qui dominent Brassac, au sud, sont constituées par du gneiss, traversé par des filons de granulite à grenat et à tourmaline noire ; par place, la granulite, passant à la pegmatite, renferme de gros cristaux de tourmaline noire et de mica blanc. Le grenat se trouve en cristaux fort nets (b^1a^2), atteignant la grosseur d'un pois ; quant à la tourmaline rose, je n'ai pu l'y trouver.

Mais au nord de la ville, près de Castelnau-de-Brassac, existe, traversant les gneiss parallèlement à la route de Castres à Lacaune, un grand filon de granulite plus ou moins chargée de grenat, et passant fréquemment à la pegmatite ; sur ce filon est situé un énorme éboulis, *le Clap*, dont le sommet a été pris comme point trigonométrique. A peu de distance du sommet du Clap, en descendant du côté de Brassac, on rencontre de nombreux blocs d'une pegmatite à tourmaline noire, dont les éléments atteignent par place un développement considérable ; le mica blanc s'y trouve en larges et épaisses lames.

Accidentellement cette pegmatite renferme de gros prismes hexagonaux de béryl vert ou d'un blanc verdâtre (densité = 2,69) ayant jusqu'à 6 centimètres suivant l'axe vertical : beaucoup plus rarement, existent des cristaux aplatis de niobite ayant la forme de ceux du Limousin.

C'est au milieu de ces blocs que j'ai trouvé un petit gisement d'une pegmatite différant essentiellement de la roche normale par la présence de la tourmaline rose et verte et de la lépidolite.

A l'endroit où on rencontre ces minéraux, la tourmaline de la salbande du filon de pegmatite est bleu sombre ou vert foncé ; quand on s'éloigne de la paroi gneissique pour aller vers l'axe du filon, on voit cette tourmaline, ainsi que la

muscovite, devenir plus rare, puis apparait de la lépidolite rose ou d'un blanc nacré, en même temps que les feldspaths subissent une profonde altération. Dans la pegmatite normale, l'orthose forme de grands cristaux gris ; par altération, ils se transforment en micas microcristallins, associés à du quartz et à de l'albite ; ceux-ci sont souvent accompagnés de cristaux d'apatite fluorifère violette en cristaux assez gros, mais généralement mal formés.

Dans d'autres échantillons, les pseudomorphoses d'orthose sont exclusivement constituées par un mélange de quartz, de rubellite et de lépidolite.

Enfin, au milieu du filon, on ne voit plus trace de la structure primordiale de la roche, qui est transformée en une sorte de greisen à gros éléments, essentiellement constitué par de la rubellite, de la lépidolite, du quartz, avec comme minéraux accessoires, de l'albite, du béryl, de l'apatite, des lamelles d'autunite et des cristaux microscopiques d'allanite.

Il n'est pas rare, en outre, de trouver des pseudomorphoses de tourmaline en quartz et en lépidolite à lamelles très fines. La disposition de ces différents minéraux lithiques ne laisse pas de doute sur leur origine pneumatolytique.

La lépidolite se présente en lames de couleur violet pourpré ou blanc nacré ayant jusqu'à 4 millimètres de diamètre.

J'ai obtenu les résultats ci-joints pour l'analyse de cette lépidolite, qu'il est intéressant de comparer à celle des localités classiques :

	Lépidolite de Castelnau-de-Brassac D = 2,83 Poids moléculaires			Lépidolite de Paris (Maine) (Rammelsberg) Poids moléculaires		
SiO^2	51,0		85,86	50,92		84,86
Al^2O^3	26,2	25,68	86,00	24,99	24,50	82,14
FeO				0,50	0,69	
MnO	traces					
$(K,Rb,Cs)^2O$	11,4	12,13		11,38	12,11	
Na^2O				2,11	3,40	
Li^2O	5,9	19,66		4,20	14,00	
H^2O	2,2	12.22		1,96	10,89	
Fl	6,2	16,31		6,29	16,55	
	102,9			102,33		
O = Fl	2,6			2,65		
	100,3			99,68		

	Lépidolite de Schuttenhoffen (Scharizer) D = 2.8245 Poids moléculaires		
SiO^2	49,255	82,20	82,24
SnO^2	0,064	0,04	
Al^2O^3	25,265	24,78	82,23
FeO	0,836	1,16	
MnO	0,854	1,21	
(K, RbCs)^2 O	13,854	11,89	
Na^2O	0,353	0,57	
Li^2O	5,370	17.94	
H^2O	1,759	9,79	
Fl	5.676	14,89	
	103,295		
O = Fl	2,376		
	100.919		

Le calcul des poids moléculaires pour la lépidolite de Brassac, ainsi que pour celles de Paris et de Schuttenhoffen, conduit à la composition d'un silicate correspondant à ce que M. Groth appelle un métasilicate basique.

La tourmaline rubellite (densité de 2,99) est d'un beau rose ; elle constitue des masses bacillaires radiées dont les individus atteignent 6 centimètres de longueur ; elle se rencontre aussi en cristaux bicolores, roses au centre, bleus ou verdâtres à la périphérie et fortement translucides. Je n'ai pu observer aucune forme géométrique mesurables dans ces cristaux.

L'intérêt de cette roche réside dans l'association de ces deux minéraux lithique, lépidolite et rubellite, association qui a été constatée déjà dans les gisements de : Hradisko, près Rozna (Moravie), Schuttenhofen (Bohême), Wolkenburg (Saxe) ; environs de Paris, (Maine) ; Pala, dans le comté de San-Diego (Californie), et dans la province de San-Paolo, au Brésil.

En France, il n'y avait pas, jusqu'à ce jour, de gisement semblable qui fût connu ; en effet, le seul gisement français de tourmaline lithique est celui d'Orvault, près Nantes, où ce minéral, généralement vert, est associé à de la muscovite dans une pegmatite.

De même, il n'existait, en France, d'autres gisements de lépidolite que ceux du Limousin et de l'Allier, où le mica lithinifère se rencontre dans des accidents de la granulite : elle y est associée à la cassitérite, à la topaze, jamais à la rubellite.

Je signale, en terminant, au nord de Brassac, l'existence de grands cristaux roses, translucides d'andalousite, au milieu des schistes micacés qui bordent le plateau gneissique.

Sur un gisement de tourmaline ferrifère dans l'Aveyron;

Par M. H. Arsandaux.

Les granulites à tourmaline du plateau qui s'étend au midi d'Entraygues, entre ce village et Villecontal, sont coupées par plusieurs filons de pegmatite; deux de ceux-ci traversent le territoire de la petite commune de Castailhac. L'un d'eux, situé à l'est du village, offre la particularité de renfermer de très gros blocs d'un quartz rose violacé, peu translucide, du jaspe gris et rouge et du quartz enfumé. Le deuxième filon, qui paraît passer dans la direction du clocher de Castailhac, renferme, à 100 mètres au nord du village, un riche gisement de tourmaline. Cette tourmaline est associée à de l'orthose, à du quartz en gros cristaux jaunâtres, peu transparents, n'offrant pas de particularité cristallographique intéressante, et à de la muscovite peu abondante.

La tourmaline de Castailhac ($D = 3,19$), dont j'ai recueilli de nombreux échantillons, est noire, vue en masse, mais brune, en éclat mince; elle se présente en masses bacillaires formées par des prismes accolés, à axes sensiblement parallèles, mais dépourvus de pointements. Ces masses bacillaires atteignent souvent, comme dimensions, 8 à 10 centimètres, suivant l'axe vertical, avec 6 ou 7 centimètres de section transversale; quelques-uns sont recouverts extérieurement par une série de petites aiguilles du même minéral, mais translucides et d'un brun plus clair; elles donnent à certains échantillons un aspect fibreux et soyeux.

La cassure des cristaux est vitreuse et montre qu'au lieu d'être fendillés, comme dans la plupart des gisements français, ils sont assez homogènes sous une grande masse; à ce point de vue, ils rappellent les tourmalines de Madagascar.

Examinés en lames minces, ils présentent une couleur brun clair avec des zones de couleur jaune ; en outre, ils renferment de nombreuses inclusions liquides à bulle mobile. Le pléochroïsme est intense dans les teintes suivantes : suivant n_g = noir presque opaque, suivant n_p = jaunâtre clair.

Grâce à son homogénéité et à l'intensité de son absorption, la tourmaline de Castailhac pourrait peut-être fournir des échantillons propres aux travaux d'optique.

Je signalerai également, dans la même localité, la présenced'andalousite en masses bacillaires radiées ; un échantillon déposé au Muséum d'Histoire naturelle offre comme dimensions 2,5 × 7 × 6 centimètres.

Minéraux nouveaux.

Bavenite. — Ce minéral est blanc et se présente en fibres radiées ayant l'aspect zéolitique ; il a été trouvé dans les druses pegmatiques du granite de Baveno. Les fibres radiées présentent à leur extrémité libre des formes cristallines. Les cristaux, en apparence orthorhombiques, sont allongés suivant l'axe vertical et aplatis suivant h^1 (100). Ils ont de 3 à 5 millimètres de longueur et 1 millimètre de large. Les faces h^1 sont striées parallèlement à l'arête ph^1. Clivage facile suivant g^1 (010). Densité 2,72 ; dureté 5,5.

Si l'on considère la bavenite comme orthorhombique, le rapport des axes est

$$a : b : c = 1{,}1750 : 1 : 0{,}7699$$

et les faces sont h^1 (100), m (110), g^3 (210), a^1 (101), a^3 (103).

Les angles (100) (110) et (100) (101) varient respectivement de 48°43′ à 50°13′ et de 56°6′ à 57°28′.

Les propriétés optiques montrent que le minéral est pseudorhombique. Une lame de clivage est perpendiculaire à la bissectrice aiguë n_g et le plan des axes est presque parallèle à h^1 (l'angle est environ de 2°) ; la lame est formée de deux parties symétriques.

L'angle apparent des axes dans l'air est $2E\alpha = 78°30'$ (Na).

L'indice de réfraction moyen, obtenu par l'immersion de la substance dans un liquide d'indice connu est de 1,580. Toutefois, la troisième décimale n'est pas exacte. L'angle $2V\alpha$ calculé est de 47°13'.

La bavenite est monoclinique et l'apparence orthorhombique est due à ce que les cristaux sont formés de deux individus maclés suivant h^1 (100).

Si l'on veut conserver l'orientation adoptée plus haut, on a les nouvelles constantes

$$a : b : c = 1,1751 : 1 : 0,7845,$$
$$\beta = 89°,17'19''.$$

Si l'on prend (101), (103) pour (101) et (001), les constantes deviennent :

$$a : b : c = 1,2006 : 1 : 0,5230$$
$$\beta = 78°,8'.$$

L'analyse a donné les résultats suivants :

H^2O, 2,49 ; SiO^2 56,93 ; Al^2O^3 15,42 ; CaO 24,47 ; MgO 0,12 Na^2O 0,29 ; Total : 99.72.

Ils sont représentés par la formule $Ca^3Al^2Si^6O^{18},H^2O$.

La bavenite a quelque analogie de composition avec la pilinite, décrite par von Lasaulx, mais elle diffère par toutes les propriétés physiques. La bavenite est une zéolite qui doit être rapprochée de l'apophyllite (Artini, *Atti d. r. Acc. dei Lincei*, 15 sept. 1901, p. 139).

Hussakite. — Ce minéral provenant de Dattas, Diamantina (Brésil) a été décrit, en 1886, sous le nom de xénotime, par M. Gorceix. La hussakite a, en effet, les formes du xénotime. Elle est quadratique ($a : c = 1 : 0,6208$) et présente les formes h^1 (100) m (110) $b^{1/2}$ (111) $b^{1/6}$ (331). Les cristaux ont 2 à 3 millimètres de long, sont allongés suivant l'axe vertical et terminés par la pyramide $b^{1/2}$. Leur couleur est blanc jaunâtre, jaune de miel, brune. Dureté 5, densité 4,587. Clivage parfait suivant m (110); cassure inégale.

Double réfraction positive.

La mesure des indices, faite par la méthode du prisme, a donné les nombres suivants :

	ω	ε	$\varepsilon - \omega$
Li	1,7166	1,8113	0,0947
Na	1,7207	1,8155	0,0948
Th	1,7244	1,8196	0,0952

La moyenne de deux analyses a fourni les résultats suivants :

SO^3, 6,13 0/0 ; P^2O^5 33,51 ; R^2O^3, 60,24 ; Fr^2O^3, 0,20 ;
Total : 100,08 0/0.

Les 60,24 de R^2O^3 contiennent Y^2O^3 43,43 0/0 ; Er^2O^3 14,82 ; Gd^2O^3 1,99.

La formule $3P^2O^5, SO^3, 3R^2O^3$ représente cette composition.

Le xénotime des sables de Bandeira de Mello (Bahia) contient 2,62 0/0 d'après une analyse, et 2,74 d'après une autre de SO^3.

Les auteurs admettent, comme conclusion, qu'on doit laisser le nom de xénotime à l'orthophosphate d'Yttrium et que la Hussakite qui a des formes cristallines absolument identiques, est une pseudomorphose de ce minéral (E. H. Kraus et J. Reitinger, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXXIV, p. 268, 1901).

Molybdophyllite. — Ce minéral se présente en masses foliacées qui se sont formées, avec de la haussmannite, dans un calcaire ou une dolomie. Les masses foliacées atteignent 3 centimètres de largeur et 1 centimètre d'épaisseur, mais elles sont habituellement petites. Bien que la molybdophyllite ne présente pas de formes cristallines, les propriétés optiques et les figures de corrosion montrent qu'elle appartient au système hexagonal.

En lames minces la molybdophyllite est incolore, en masses épaisses elle est légèrement verdâtre. La double réfraction est négative. La détermination des indices, faite avec un prisme dont l'arête est parallèle à l'axe optique, a donné les résultats suivants :

	Rouge	Jaune	Vert
$\omega =$	1,8071	1,8148	1,8213
$\varepsilon =$	1,7537	1,7611	1,7675
$\omega - \varepsilon =$	0,0534	0,0537	0,0538

Les lames de ce minéral sont légèrement flexibles ; elles ressemblent à du mica. Leur densité est 4,715 et leur dureté est de 3 à 4.

La composition est la suivante :

SiO^2, 18,15 ; PbO, 61,09 ; MgO, 11,71 ; Al^2O^3, 0,46 ; Na^2O, 0,82 ; K^2O, 0,69 ; H^2O, 6,32. Total : 99,24.

Elle est assez voisine de celle de l'orthosilicate à une molécule d'eau, représenté par la formule $R^2SiO^4 + H^2O$. La molybdophyllite se distingue de la barysilite de Harstigsgrube par la présence de l'eau, aussi ce dernier minéral pourrait bien être une pseudomorphose du premier.

La molybdophyllite (μόλυβδος, plomb ; φύλλον, feuille) se trouve à Långbanshyttan, Wermland, Suède (G. Flink, *Bull. of the Geol. Inst. of Upsala*, n° 9, vol. V, part. I, 1900, p. 91).

Synchysite. — Nom donné par G. Flinck à la parisite de Narsarsuk (Groenland), décrite par G. Nordenskiöld en 1894, et par Flink (voir ce *Bull.*, t. XXIII, p. 205). (G. FLINK. *Bull. of the geol. Inst. et Upsala*, n° 9, vol. V, part. 1; 1900.)

Seligmannite. — Les cristaux de seligmannite ressemblent à ceux de bournonite, ils présentent les formes h^1 (100) g^1 (010) p (001) m (110) h^3 (210) g^3 (120) g^2 (130) $h^{3/2}$ (510) a^1 (101) e^1 (011) $b^{1/2}$ (111) (211) b^1 (112) (213) (431) et sont quelquefois maclés suivant m.

Le rapport des axes est :

$$a : b : c = 0{,}92804 : 1 : 0{,}87568.$$

L'analyse quantitative complète n'a pu être faite à cause de la faible quantité de matériaux, mais il est certain que la seligmannite est un minéral faisant partie de la série ayant pour formules 3 (R'^2, R'') S, AsS^3. La composition est à peu près celle de la bournonite, mais l'antimoine est remplacé par l'arsenic.

La seligmannite, dédiée à M. G. Seligmann, se trouve dans la dolomie de Binn (H. BAUMHAUER, *Berl. Akad.*, *Wiss.* 1901, p. 110).

Lasur-oligoclase. — Ce minéral, connu depuis longtemps et qui se trouve dans les environs du lac Baïkal, avait été désigné lasur-feldspath par Nordenskiöld. Les cristaux sont partiellement altérés et contiennent de nombreuses inclusions de calcite ; aussi leur dureté est moindre que celle des feldspaths ordinaires. L'angle $tg^1 = 59°16'$, $tm = 59°10'$, $pt = 65°38$ $pg^1 = 86°28'$, $o^{1/2}p = 42°$.

$$a : b : c = 0{,}5533 : 1 : 0{,}6314$$
$$\alpha = 90°1',\ \beta = 116°22',\ \gamma = 93°11'$$

La valeur des angles et la composition chimique rapprochent

ce feldspath de l'oligoclase du Vésuve, d'où le nom de lasur-oligoclase qu'on lui a donné. Sa composition est la suivante : SiO^2 60,50; Al^2O^3 26,24; MgO 4,38; Na^2O 8,88 (P.-V. Jerremejew, *Zeits. f. Kryst.*, t. XXXIII, p. 493).

Ledouxite. — Nom donné à l'arséniure de cuivre Cu^4As. L'échantillon analysé provient de Mohawk mine.

La composition de ce minéral est la suivante :

Cuivre 68,6; cobalt 1,2; nickel 6,55; fer 0,23; soufre 0,53; arsenic 22,67. La ledouxite ressemble à l'algodonite. La densité est de 7,8 à 8,07 (J. W. Richards, *Am. J. of. Sc.*, juin 1901, p. 456).

Conchite (1). — Forme de carbonate de chaux entrant dans la composition des coquilles des mollusques, dans lesquelles elle est souvent associée à la calcite. Le conchite est uniaxe et optiquement négative, comme la calcite; mais elle diffère de cette dernière par une densité plus grande (2,87 au lieu de 2,71) et par une plus grande réfringence ($\epsilon = 1{,}524$). Elle se transforme en calcite de 300° à 301°. Cette substance se trouve aussi dans les incrustations calcaires de Carlsbad (Agnès Kelly, *Min. Mag.*, t. XII, p. 363).

Violaïte. — Pyroxène très polychroïque, entrant comme élément essentiel dans la roche des mines de cuivre de Kedabek et désignée par E. Fedorow sous le nom de *kedabekite*. Les couleurs sont le vert et le jaune-orangé. La composition est la suivante :

SiO^2, 48,26; Al^2O^3, 3,84; Fe^2O^3, 1,15; FeO, 15,77; MgO, 8,09; CaO, 22,61; Na^2O, 0,28. — Total : 100.

(E. Fedorow. — *Ann. Inst. agron. Moscou*, t. VII, livr. 1, 1901.

(1) Voir les notes de M. Brauns, p. 459, et de M. Vater, p. 456.

Stoffertite. — Ce minéral est un phosphate de chaux hydraté, voisin de la métabrushite, et qui se rencontre dans l'île Mona (entre Haïti et Porto-Rico). Il est monoclinique et a les faces g^1 (010) et e^1 (011).

Le plan des axes est perpendiculaire à g^1.

L'angle des axes optiques est de 86° 41′ pour la flamme du lithium. $\rho > v$.

La composition est la suivante :

Eau 30,94, CaO 30,78, P^2O^5 38,30.

C'est donc un phosphate de chaux avec 5 et demi HO^2 (Klein, *Berl. Akad. Wiss.*, 13 juin 1901, p. 712).

Compte Rendu des publications étrangères.

L. Fletcher. — Sur les météorites tombées à Zomba (Afrique britannique centrale), le 25 janvier 1899, avec des notes sur la composition chimique de ces corps. *Min. Magaz.* (vol. XIII, p. 1-37 ; mai 1901).

La composition minéralogique d'un fragment de météorite est la suivante :

Fer et nickel......	1,2422	8,61 0/0	10,54 0/0
Olivine...........	6,1267	42,44	41,85
Enstatite.........	5,0238	34,80	41,24
Oligoclase........	1,2662	8,77	
Troilite..........	0,7005	4,85	6,37
Chromite.........	0,0758	0,53	—
Total.......	14,4352	100	100

Elle est voisine de celle de Linn County, Iowa (États-Unis).

L.-J. Spencer. — Marshite, Miersite et Iodyrite de Broken Hill, Nouvelles-Galles du Sud (*Ibid.*, p. 30).

1° *Marshite* (1). — La marshite possède un clivage suivant b^1 (110), fait qui n'avait pas encore été signalé. Dureté 2,5. Isotrope. Les indices de réfraction sont très élevés :

$$n\ (Li) = 2{,}313,\ n\ (Na) = 2{,}346,\ n\ (Tl) = 2{,}385.$$

Les indices de réfraction pour les rayons extrêmes de la lumière blanche sont approximativement de 2,25 et 2,7. La dispersion est donc beaucoup plus considérable que dans le diamant.

Les cristaux appartiennent à deux types différents. Les uns sont brillants, jaune de vin, et ont la forme du cubo-octaèdre ; les autres sont un peu plus gros (ils ont de 1 millimètre à 1,5), leur couleur va du jaune-orangé au rouge brique et ils se présentent en tétraèdres. Par leur réfringence, leur couleur, ils ressemblent beaucoup à la blende, particulièrement les cristaux du premier type qui ont l'apparence des blendes de la vallée de Binn.

2° *Miersite* (2). — Les caractères cristallographiques sont les mêmes que ceux de la marshite ou de la blende. Il existe aussi un clivage suivant b^1 (110). Les lames de clivage sont transparentes et parfaitement isotropes. Les cristaux sont souvent maclés suivant a^1 (111). Les faces observées sont p (100) et a^1 (111).

L'analyse quantitative n'a pu être faite, mais l'analyse qualitative montre que le minéral contient beaucoup d'argent et d'iode, avec une quantité variable de cuivre. Une petite

(1) Voir *Bull.*, t. XVII, p. 277.
(2) Voir *Bull.*, t. XXI, p. 176.

quantité de chlore a aussi été constatée dans quelques cristaux. Le minéral est insoluble dans l'acide nitrique.

Les propriétés optiques, après la fusion sur une lame de verre, donnent une idée de la proportion relative de l'iodure d'argent et de l'iodure de cuivre existant dans le minéral. Celui-ci est fusible à une température élevée en donnant un liquide rouge.

La substance solidifiée est rouge jaunâtre, isotrope et en apparence tout à fait homogène, mais quand elle est complètement refroidie, il existe deux corps, un isotrope et jaune pâle, et l'autre de couleur plus pâle et biréfringent.

On observe le même phénomène en prenant de l'iodure d'argent et de l'iodure de cuivre artificiels lorsque ces deux corps se trouvent dans les proportions variant de AgI + CuI à 8 AgI + CuI.

Par analogie des phénomènes se produisant avec la miersite et ces mélanges artificiels, il est probable que la composition du premier corps répond à la formule 4 AgI, CuI.

Iodyrite. — Les cristaux appartiennent à deux types distincts : *a*) Les uns sont des prismes hexagonaux aplatis suivant l'axe vertical, avec les formes (111) (211) et quelquefois avec les pyramides hexagonales entre 511 et 111. Les prismes et les faces de la pyramide sont striés transversalement. Sur neuf cristaux on a constaté l'hémimorphie ; *b*) les autres cristaux, pseudocubiques, ont l'aspect tétraédrique, ce qui est dû au groupement de quatre rhomboèdres maclés. Ils ne peuvent pas être distingués par des mesures goniométriques des cristaux de marshite et de miersite.

Le plan de macle coïncide avec (10.1.1).

L.-J. SPENCER et G.-E. PRIOR. — Stannite cristallisée de Bolivie (*Ibid.*, p. 54).

Les échantillons étudiés proviennent de la mine San José à Oruro. Les cristaux ont habituellement 1 millimètre à $1^{mm},5$. Ils ont l'apparence cubique; mais un examen plus approfondi indique que chaque cristal est formé de plusieurs individus. La mesure des angles montre que le minéral a la symétrie du système quadratique, et l'inégalité d'éclat et de dimensions qui existe entre les faces (111) et (211) prouve que la substance possède l'hémiédrie inclinée. Les faces constatées sont les suivantes: p (001), h^1 (100), m (110), a^1 (101), $a^{1/2}$(201), b^2(114), b^1(112), $+b^{1/2}$(111), $b^{1/4}$(221), $-b^1$(1$\bar{1}$2), $-$ $b^{1/2}$ (1$\bar{1}$1), (423) (positif).

Les macles sont très intéressantes, puisqu'elles donnent à un minéral quadratique la forme pseudo-cubique qui existe toujours.

Les deux lois de macles sont les suivantes :

1° Deux individus sont associés symétriquement avec pénétration suivant le plan a^1 (101);

2° Deux cristaux se pénètrent, l'axe de rotation étant perpendiculaire à $b^{1/2}$ (111), qui est le plan d'association. Cette dernière macle n'existe pas toujours comme la première.

La composition est la suivante :

	I	II	III	IV (moyenne)	Rapport atomiques
Cu	28,58	28,54		28,56	0,453
Fe	10,95	10,90		10,93	197
Sn	25,52	24,90		25,21	213
Sb	3,54	3,88		3,71	031
Pb	2,02	2,09		2,06	010
Ag	0,94	0,82		0,88	008
S	—	—	27,83	27,83	874
				99,18	

Les résultats de cette analyse, faite pour la première fois sur des échantillons cristallisés, confirment la formule adoptée jusqu'ici $CuFeSnS^4$.

Les analogies qui existent entre les propriétés cristallographiques de la chalcopyrite et de la stannite conduisent à adopter, pour le second minéral, une formule analogue à celle du premier ; aussi la formule de la stannite peut être écrite $CuFeS^2 + CuSnS^2$ ($CuFeS^2$, représente celle à la chalcopyrite).

Les auteurs décrivent, en outre, des échantillons de stannite de Potosi, de Tatasi et du Cornwall.

H. Hilton. — Une preuve simple de la rationalité du rapport anharmonique de quatre faces d'une zone (*Ibid.*, p. 69).

R. Hudson. — Addition à une précédente note sur la rotation des points et des plans autour d'un axe (*Ibid.*, p. 71).

Ces deux notes sont purement géométriques.

C.-O. Trechmann. — Note sur un gisement britannique de mirabilite (*Ibid.*, p. 73).

Ce minéral se trouve sur une roche gypseuse, à Kirkl Thore en Westmoreland. Il est presque pur, mais ne possède pas de forme cristalline.

G.-F. Herbert Smith. — Note préliminaire sur une forme de goniomètre à trois cercles.

R.-H. Solly. — Sulfoarséniures de plomb de Binnenthal Rathite (*Ibid.*, p. 77).

Une nouvelle orientation des cristaux a été choisie de façon que la zone la plus développée soit verticale. Le clivage p (001) (Baumhauer) devient g^1 (010) et correspond à celui de la jordanite.

La correspondance des faces principale est la suivante :

Baumhauer..	100	010	001	403	095	20.27.0	20.27.15
Solly........	100	001	010	110	011	101	111

Le rapport d'axe $a : b : c = 0{,}668099 : 1 : 1{,}057891$, donné par Baumhauer, devient $a : b : c = 0{,}4737 : 1 : 0{,}5251$. Ce dernier rapport a été calculé avec les angles 010 : 350 = 51° 27′ et 010 : 111 = 70° 45′.

Les cristaux étudiés proviennent de Lengenbach. Ils présentent cinq types différents. Les deux macles observées se produisent suivant $e^{4/7}$ (074) et $e^{1/15}$ (0.15.1). Dans la première, de nombreuses lamelles très fines se maclent et produisent les stries, que M. Baumhauer considère comme étant produites par des bandes de $PbAsS^3$, alternant avec des bandes de $PbSbS^3$.

L'auteur donne un tableau contenant la liste des soixante-deux formes de la rathite ; trente-sept sont nouvelles.

W. Vernadsky. — Sur la théorie des silicates (*Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXXIV, p. 37).

L'auteur distingue les silicates simples, contenant seulement RO, et les alumosilicates dans lesquels rentre R^2O^3, R^2 désignant l'aluminium, qui peut être remplacé en totalité ou en partie par Fe, Cr.

Les alumosilicates et les silicates simples sont tout à fait différents, et il n'existe aucun passage entre eux. Cette séparation des deux groupes est basée sur les observations suivantes :

a. Il n'y a pas de réaction par laquelle le métal de l'oxyde RO du silicate simple soit remplacé par Al et réciproquement ;

b. Il n'y a pas de réaction par laquelle l'alumosilicate puisse produire directement de la silice hydratée et réciproquement ;

c. Les produits naturels de décomposition des silicates simples et des alumosilicates sont tout à fait différents. Les silicates donnent le plus souvent de la silice hydratée (opale) et de la silice SiO^2; les alumosilicates donnent exceptionnellement de la silice et de l'alumine hydratées, mais habituellement, il y a seulement formation d'argile et de minéraux du groupe de la chlorite ;

d. Si on traite ensemble un silicate simple et un alumosilicate aux températures les plus élevées comme aux temratures les plus basses, il se produit une combinaison de ces deux substances ou une substitution des métaux des oxydes RO;

e. Les alumosilicates, qui contiennent de l'alumine, et RO donnent des aluminates de l'oxyde RO.

Ces deux classes de composés sont aussi tout à fait différentes quant à leur fonction chimique. Les silicates simples peuvent être considérés comme des sels et des produits d'addition de l'acide silicique. Quelques alumosilicates seulement peuvent être regardés comme des sels doubles (leucite) ; mais, pour les autres, il n'y a pas d'hypothèse plausible pour expliquer leur constitution. La nature de l'alumine est incertaine. Cette dernière peut être un anhydride acide formant avec RO des aluminates ou être une

base faible. Il est vraisemblable de considérer les alumosilicates comme anhydrides, hydrates, sels (et les corps voisins ou produits d'addition) de l'acide alumosilicique.

Les silicates simples passent facilement de l'un à l'autre.

Les orthosilicates, attaqués par un acide, donnent de la silice gélatineuse, et les métasilicates de la silice pulvérulente.

La formule générale des alumosilicates est $m\mathrm{MO}, n\mathrm{Al^2O^3}, p\mathrm{SiO^2}$. Un fait très important, établi par Morozierviecz, est que $m = n$; lorsque ces deux termes sont inégaux, on peut admettre que le noyau d'alumosilicate est combiné à des produits d'addition. Si $m = n = 1$, p est égal à 1, 2, 4, 6, 8, 10 et 12. Pour les minéraux, p ne dépasse pas 6, et c'est seulement dans quelques rares cas que p égale 8, 10, 12, comme dans le silicate de lithium, reproduit artificiellement par MM. Hautefeuille et Péan de Saint-Gilles, le pollux, la milarite.

L'auteur fait remarquer que les alumosilicates comprennent deux groupes tout à fait différents. L'un ayant pour formule $\mathrm{M^2Al^2SiO^6}$, et qu'on peut considérer comme renfermant le noyau de la *chlorite;* l'autre contenant les alumosilicates ayant le noyau du *mica*. Ces derniers ont pour formule $\mathrm{M^2Al^2Si^2O^8}$, $\mathrm{M^2Al^2Si^4O^{12}}$, $\mathrm{M^2Al^2Si^6O^{16}}$, $\mathrm{M^2Al^2Si^8O^{20}}$, $\mathrm{M^2Al^2Si^{10}O^{24}}$, $\mathrm{M^2Al^2Si^{12}O^{28}}$. Les différences entre les deux groupes sont les suivantes :

a. Il n'y a pas de réaction connue par laquelle les alumosilicates avec noyau chlorite passent aux alumosilicates avec noyau mica et inversement;

b. Tous les alumosilicates avec noyau mica passent facilement de l'un à l'autre (muscovite-orthose, etc.);

c. Les alumosilicates, avec noyau de mica, donnent de l'argile par décomposition sous l'influence de l'eau et de

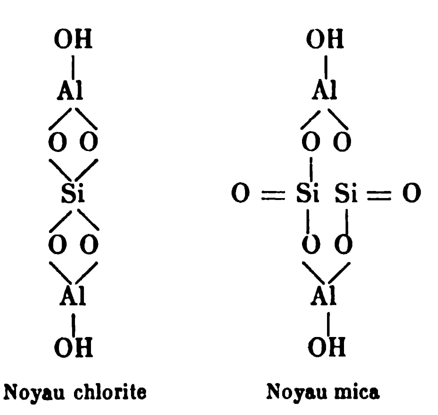
l'acide carbonique atmosphérique. Cette réaction n'est pas connue pour les silicates à noyau chlorite;

d. Le passage des alumosilicates avec noyau chlorite aux silicates de l'autre groupe peut seulement se faire par des produits d'addition;

e. Les chromosilicates possèdent une propriété remarquable, lorsqu'ils forment un mélange isomorphe avec les alumosilicates. Les chromosilicates avec noyau chlorite sont rouges ou roses ; les autres sont verts.

Par la considération de certains faits, l'auteur admet que le groupe hydroxyle HO est lié avec Al dans un alumosilicate.

Les deux noyaux chlorite et mica peuvent être représentés de la façon suivante :



Noyau chlorite — Noyau mica

Si les silicates à noyau de chlorite sont analogues aux orthosilicates, les minéraux à noyaux mica sont analogues aux métasilicates.

L'auteur passe encore en revue quelques groupes importants d'alumosilicates. Il donne, à la fin de son travail, un tableau de classification des silicates basé sur les considé-

rations développées dans le mémoire et dont quelques-unes ont été résumées ci-dessus.

K. Zimanyi. — Sur la tétraédrite de Botes-Berge (Hongrie) (*Ibid.*, p. 78).

Une face nouvelle (655) a été observée. Les cristaux sont maclés de façon que l'axe de la macle soit perpendiculaire à a^1 (111). L'analyse faite par J. Loczka (même fasc. du *Zeitsch.*, p. 84) a donné les résultats suivants : (moyenne de deux analyses) S, 25,16; Sb, 26,61 ; As, 0,38 ; Cu, 37,22; Ag, 1,51 ; Pb, 0,33; Fe, 0,80 ; Mn, 0,69; Zn, 6,59 ; résidu insoluble, 0,06.

Cette composition ne correspond pas aux formules admises habituellement $4R''S.R'''S^3$ et $3R''S.R'''^2S^3$, ni à la formule de Prior[1] et Spencer $3R'^2S.R'''^2S^3 + x(6R''S.R'''^2S^3)$.

E. Zambonini. — Notices minéralogiques (*Ibid.*, p. 225).

Müllerite. — La müllerite ($Fe^2Si^3O^9,2H^2O$) se trouve non seulement à Nontron, où elle a été rencontrée pour la première fois, mais à Eirschenreuth et à Starbo (Norvège).

Schrötterite. — La schrötterite de Saalfeld est intimement mêlé, à la mélite. Le minéral est complètement isotrope. Les analyses de l'auteur confirment la formule $7Al^2O^3$, $3SiO^2+36H^2O$, obtenue par Mallet.

Mélite de Saalfeld. — Sous le microscope, la mélite se montre tantôt sous la forme d'aiguilles opaques, droites ou courbes, tantôt sous la forme de petites lamelles qui sont demi-transparentes et d'une belle couleur rouge de vin. Les plus minces paraissent rouge-jaune clair. Elles sont complètement isotropes.

[1] Voir *Bull.*, t. XXII, p. 158, 1899.

Manganite de Ilefeld. — Les formes nouvelles observées sont h^5 (320), $h^{13/5}$ (940) g^{11} (560) $g^{7/2}$ (590). L'auteur admet, après Groth et Sadebeck, que la manganite ne possède pas l'hémiédrie à faces inclinées, bien que certains cristaux paraissent la présenter.

Epidote jaune de colle del Paschietto (vallée d'Ala). — Les trois formes $o^{3/2}$ (203), $o^{11/13}$ (13.0.11) $b^{1/3}b^{1/11}h^{1}$ (744) sont nouvelles pour la localité.

Diopside d'Ala. — Les formes nouvelles observées sont $b^1d^{1/5}g^1$ (231), $b^1d^{1/7}g^{1/3}$ (343), $d^{1/13}d^{1/15}g^1$ (14.1.1), ce qui porte à 68 le nombre des faces connues.

L'auteur décrit en outre l'olivine et la forsterite du Latium, la brochantite d'Utah. Il donne de nombreuses mesures d'angles de cristaux de sanidine, et des analyses de la dioptase des steppes des Kirghis, qui ont conduit l'auteur aux résultats donnés par M. Damour. Les mesures cristallographiques, faites sur la sanidine, ont amené l'auteur à penser que les cristaux de cette substance sont déformés, comme cela a lieu pour d'autres minéraux volcaniques (hornblende, sphène, idocrase). Cela expliquerait la variation qui s'observe dans les mêmes angles des cristaux.

A. Hutchinson. — Sur la Stokesite (*Ibid.*, t. XXXIV, p. 345).

L'auteur complète la description de la stokesite (Voir *Bull.*, t. XXII, p. 152), un nouveau minéral du Cornwall. Le minéral orthorhombique a pour rapport d'axes :

$$a : b : c = 0{,}3463 : 1 : 0{,}8033.$$

Clivage parfait suivant m (110), moins facile suivant

g^1(010). Plan des axes parallèle à g^1. Bissectrice aiguë perpendiculaire à p (001).

Pour la lumière du sodium, 2V=69° 1/2; pour celle du thallium, 2V = 69°50′ environ. $\rho < v$. 2E=134°.

Optiquement positif, n_g, mesuré par la méthode du prisme, est égal à 1,619; n_m et n_p, calculés en fonction de l'angle des axes optiques et de n_g sont respectivement égaux à 1,6125 et 1,609.

La composition chimique déduite de deux analyses faites sur 0,11 environ de matières est la suivante:

SiO^2, 42,65; SnO^2, 35,55; CaO, 13,27; H^2O, 8,53.

Elle peut être représentée par la formule CaO, SnO^2, $3SiO^2$, $2H^2O$. Toute l'eau n'est pas de cristallisation; en effet le minéral ne change pas jusqu'à 100°; mais, à 220° on constate 1,9 0/0 de perte, à 350° 6 0/0, le reste se dégage entre cette dernière température et le rouge. Si l'on admet qu'il n'y a pas d'eau de cristallisation, on peut considérer la stokesite comme une combinaison d'un bisilicate avec un orthosilicate ($H^4CaSi^2O^7$, $SnSiO^4$) ou comme un sel d'un acide tétrasilicique $H^4Ca(SiSn)^4O^{11}$. La comparaison de la gangue du minéral avec les échantillons d'axinite de « Roscommon Cliff » montre que le minéral provient bien de cette localité.

E.-H. Kraus et G. Mez. — Sur les rapports des axes topiques (*Ibid.*, p. 389). Voir *Bull.*

Les auteurs calculent les axes topiques dans le système triclinique, hexagonal et trigonal. Ensuite ils déterminent les axes des feldspaths, du diaspore, de la manganite et de la göthite. Dans les feldspaths, les axes ψ et χ aug-

mentent régulièrement, alors que ω décroît, si on passe de l'albite à l'anorthite.

E.-H. Kraus. — Sur quelques sels des terres rares (*Ibid.*, p. 397).

Dans ce travail l'auteur étudie les corps suivants :

$Ce^2(SO^4)^3, 5H^2O$. Monoclinique $a : b : c = 1,4656 : 1 : 1,1264$; $\beta = 102°40'$; $mm = 110°4'$; $e^1e^1 = 95°24'$; $me^1 = 46°20'$.
[$Pr(SO^4)^3, 5H^2O$. Monoclinique $a : b : c = 1,445 : 1 : 1,1157$; $\beta = 101°16'$; $mm = 109°35'$; $e^1e^1 = 95°9'$; $me^1 = 47°14'$[1 2].
[$Y^2(SO^4)^3, 5H^2O$. Étudié déjà par Rammelsberg et Topsoë.
[$Pr^2(SO^4)^3, 8H^2O$. Monoclinique $a : b : c = 2,9863 : 1 : 1,9995$; $\beta = 118°$.
$Nd^2(SO^4)^3, 8H^2O$. Monoclinique $a : b : c = 2,98 : 1 : 1,997$; $\beta = 118°18'$.
[$Er^2(SO^4)^3, 8H^2O$. Étudié déjà par Topsoë.
$La^2(SO^4)^3, 9H^2O$. Étudié par Marignac.
$Ce^2(SO^4)^3, 9H^2O$. Étudié par Marignac.
$La^2(SO)^3(AzH^4)^2SO^4, 8H^2O$. Monoclinique $a : b : c = 0,35086 : 1 : 0.9145$ $\beta = 97°36'$.
$Ce^2(SO^4)^3(AzH^4)^2SO^4, 8H^2O$. Etudié par M. Wyrouboff.
$Th(SO^4)^2, 9H^2O$, étudié par Marignac, Nordenskiöld, etc.
$La(AzO^3)^2, 2Az^2H^4Az^2O^3, 4H^2O$. Étudié par Marignac et M. Dufet.
$Di(AzO^3)^3, 2AzH^4AzO^3, 4H^2O$. Etudié par Marignac.
$Di(AzO^3)^3, 2AzH^4AzO^3, 4H^2O$. Rhomboédrique $a : c = 1 : 1,559$.

L'auteur étudie aussi les propriétés optiques, les figures de corrosion et s'occupe de l'isomorphisme de ces différentes catégories de sels.

G. Wulff. — Sur la vitesse de formation et de dissolution des faces cristallines (*Ibid.*, t. XXXIV, p. 449).

L'auteur examine d'abord l'influence des courants de concentration. Les mesures qu'il a faites l'ont amené aux résultats suivants :

La comparaison de la vitesse de formation des différentes faces n'est possible que si ces dernières faces sont orientées de la même façon par rapport à la direction des courants de concentration.

De nombreuses mesures ont été faites sur l'accroissement des différentes faces. Deux sortes de substances ont été employées pour l'étude, le sulfate de zinc ammoniacal $Zn\ (AzH^4)^2\ (SO^4)^2,\ 6H^2O$ et le sel de Mohr, $Fe\ (AzH^4)^2,\ (SO^4)^2,\ 6H^2O$, isomorphe du précédent. Les cristaux de sulfate de zinc ammoniacal servent de noyau sur lesquels se dépose le sel de Mohr dans l'eau mère duquel on a mis les premiers cristaux. La différente coloration des deux sels permet de voir comment s'est fait l'accroissement du cristal et de mesurer l'épaisseur de la couche du sulfate de fer ammoniacal qui s'est déposée. Il a été constaté que la vitesse de formation de certaines faces des cristaux du sel de Mohr est très variable.

Toutes les faces d'un cristal du sel de Mohr peuvent être rangées de la façon suivante :

$$(201)\ (110)\ (001)\ (111)\ (11\bar{1})\ (011)$$

si on part de la vitesse d'accroissement la moins grande.

Les recherches faites sur la vitesse de dissolution des faces cristallines du sel de Mohr ont montré qu'il n'y a aucune réciprocité entre cette vitesse et celle d'accroisse-

ment. La grande différence existant entre les deux vitesses est que la vitesse de dissolution est à peu près la même pour toutes les faces. Ce dernier résultat paraît douteux à l'auteur; aussi il a fait des recherches contrôlant les expériences faites sur la dissolution, toujours les vitesses sur les différentes faces sont presque égales.

Des expériences sont ensuite faites sur la vitesse relative de formation des faces du sel de Mohr, en éliminant l'influence des courants de concentration au moyen d'un cristallisoir tournant. L'auteur examine la théorie de M. P. Curie sur les constantes capillaires des faces cristallines et admet que le développement de ces dernières est en relation avec les premières.

Z. Weyberg. — Sur la vitesse de formation relative des faces cristallines (*Ibid.*, p. 531).

L'auteur a fait des recherches sur des cristaux d'alun en employant les procédés de M. Wulff. La vitesse relative d'accroissement des différentes faces dépend de la concentration.

F. Zambonini. — Communications minéralogiques (*Ibid.*, p. 549).

Mésotype de Langesundfiord. — Les formes nouvelles observées sont : $b^{2/3}$ (334), $b^{5/6}$ (335), b^1 (112), $b^{1/3} b^{1/9} g^1$ (361), $b^{1/5} b^{1/11} h^{1/6}$ (836), $b^{17/32}$ (16. 16. 17).

Pyrosmalyte de Bjelke-Gruben (*Nordmarken*). — L'auteur montre l'isomorphisme de ce minéral avec la friedelite. La

moyenne de plusieurs analyses de la pyrosmalite, fournit les résultats suivants :

SiO^2, 34,71 ; FeO, 27,76 ; MnO, 24,30 ; CaO, 0,43 ; MgO, 1,11 ; Al^2O^3, 0,26 ; H^2O, 8,31 ; Cl, 4,16. — Total : 101,04 (moins O pour 2 Cl, 0,94) = 100,10.

La formule RCl^2, 12RO, $10SiO^2+8H^2O$, dans laquelle R = F + Mn, représente cette composition. Elle est identique à celle de la friedelite, d'après les analyses faites par Gorgeu, Flink, Lindström et Igelström. Dans la friedelite, le fer se trouve en très faible quantité.

Apophyllite de Seiser-Alpe. — Les cristaux tabulaires, aplatis suivant la base, montrent les formes habituelles p (001) h^1 (100), $b^{1/2}$ (111) et e^3 (013), qui est arrondi.

P. v. Sustshcinsky. — Sur la célestine des carrières de ciment de Marienstein près Tegernsee (Bavière).

La célestine se trouve à 250 mètres de profondeur dans les cavités drusiques et les fissures d'une marne verte qui est du crétacé inférieur d'après v. Ammon. Les géodes contiennent aussi de la calcite.

Les cristaux de calcite atteignent 2 centimètres de longueur et montrent le scalénoèdre d^2 (201), d^1 (10$\bar{1}$), rarement a^1 (111).

Les cristaux de célestine ont 3 à 4 millimètres de longueur, une couleur bleuâtre, sont bien formés et ont des faces brillantes. Ils appartiennent à trois types : un type prismatique, dans lequel les faces des prismes h^5 (320) et m (110) sont assez développées et dont l'allongement se fait suivant l'axe vertical ; un second, les autres dans lequel les faces de la pyramide sont prédominantes. Dans le dernier

type, les cristaux sont allongés suivant l'axe antéro-postérieur a, et a^1 (011) est la face dominante. De la valeur des angles mesurés l'auteur a calculé les rapports des axes.

$$a : b : c = 0{,}77918 : 1 : 1{,}2824.$$

La mesure de l'angle des axes optiques a donné $2Ea =$ 86° 50'.

H. Vater. — Sur la ctypéite et la conchite (*Ibid.*, t. XXXV, p. 149.)

Les résultats du mémoire sont les suivants :

Un certain nombre d'échantillons de pisolithes de Carlsbad (Erbsenstein) sont certainement formés par de l'aragonite, comme l'ont déjà reconnu Berzélius, G. Rose et Sorby.

Les recherches faites jusqu'ici sont insuffisantes pour expliquer la formation des pisolithes de Carlsbad. On est porté à admettre que ceux-ci se sont formés d'écailles concentriques, amorphes au début, d'origine organique et devenues plus tard cristallines. Les petits cristaux d'aragonite entourant le pisolithe sont d'origine minérale.

La ctypéite correspond peut-être à de l'aragonite fibreuse ou au nouveau carbonate de calcium artificiel obtenu par l'auteur.

Cette nouvelle forme du carbonate de chaux a une densité de 2,54 et une dureté de 3,5 à 4. Quatre expériences de cristallisation ont donné des agrégats fibro-radiés. Le plus petit indice de réfraction se trouve dans la direction de la fibre, comme dans la calcite et l'aragonite.

La modification décrite sous le nom de conchite par

Miss Kelly, est, comme l'a déjà indiqué R. Brauns, identique à l'aragonite.

F. SLAVIK. — Sur le zoïsite rouge de Moravie (*Ibid.*, p. 686).

L'auteur étudie la zoïsite de Borovina. Elle correspond, par ses propriétés optiques, à la zoïsite α de Montpelvas de M. Termier et possède le polychroïsme de la thulite de Telemarken, décrite par M. Lacroix. Cette zoïsite a la composition suivante, d'après les analyses de M. Fr. Kovar :

SiO^2, 38,31 ; Al^3O^3, 29,38 ; Fe^2O^3, 4,46 ; MnO, 0,17 ;
CaO, 25,18 ; MgO, 0,44 ; H^2O, 2,06. — Total : 100,60.

F. SLAVIK. — Sur l'identité probable de la lussatite et de la tridymite (*Ibid.*, p, 690).

La serpentine de la Moravie orientale contient de la lustatite, de la quartzine, de la calcédoine et probablement de la tridymite. La lussatite des serpentines voisines du village de Bojanovice, près de Jevisovice, est formée de fibres très minces. Les propriétés optiques de ces fibres concordent avec la tridymite, si l'on assimile l'allongement des premières à l'axe vertical des secondes. En outre, la lussatite se dissout dans une solution concentrée et chaude de potasse (2,40 et 2,29 en vingt-quatre heures). Dans une solution concentrée et bouillante de carbonate de soude 57,46 0/0 de SiO^2 ont été dissous en quarante-huit heures. Or la solubilité dans les carbonates alcalins est un des caractères distinctifs de la tridymite. La lussatite est donc probablement une variété fibreuse de tridymite.

C. Viola. — Sur le chatoiement (schillérisation) des différents feldspaths (*Ibid.*, t. XXXIV, p. 171).

L'auteur étudie la pierre de lune du Ceylan, qui montre un éclat chatoyant sur la face $a\ ^1/^2\ (\bar{2}01)$, l'albite d'Amelia (Virginie), dont le chatoiement est sur g^1 (010), p (001), l'adulaire de Zillerthal à éclat chatoyant sur p (001) et $a\ ^1/^2\ (\bar{2}01)$.

L'observation a montré que :

1° Le chatoiement provient de la lumière diffuse, laquelle est bleue ou verte, jusqu'au blanc ;

2° La lumière diffuse blanche du chatoiement passe du bleu au violet, si la lame considérée devient plus mince. Mais, au-dessous d'une certaine limite de l'épaisseur de cette lame, le chatoiement disparaît ou devient très faible ;

3° La lumière qui traverse n'est pas blanche, comme celle qui tombe sur la lame ; elle est orange ou a la couleur complémentaire de celle du chatoiement ;

4° La variation de l'angle d'incidence ne change pas la couleur de la lumière ;

5° On ne peut pas remarquer l'influence des inclusions sur le chatoiement.

Pour expliquer le phénomène, M. C. Viola fait appel à la théorie de lord Rayleigh, relative à la diffusion de la lumière, traversant un milieu composé de petits corpuscules dont les dimensions sont du même ordre de grandeur que celles des longueurs d'onde.

L'auteur fait remarquer qu'alors que le chatoiement se produit dans les feldspaths monocliniques surtout sur la face $a\ ^1/^2 (\bar{2}01)$, perpendiculaire au plan de symétrie, dans les feldspaths tricliniques, c'est sur une face très voisine de g^1 (010) qu'il a principalement lieu.

M. Meigen. — Réaction simple pour la distinction de l'aragonite de la calcite (*Centr. f. Min. G. et Pal.;* n° 19, p. 577, 1901).

Le procédé, pour distinguer l'aragonite de la calcite, consiste à pulvériser très finement le minéral et à faire bouillir, pendant quelques minutes, la poudre obtenue avec une solution de nitrate de cobalt. Avec l'aragonite on obtient un précipité rouge lilas de carbonate basique de cobalt. Si la substance est de la calcite, il ne se produit pas de coloration, ou une coloration jaunâtre due à la présence de matières organiques. Une réaction, identique à celle obtenue avec l'aragonite, est produite par les carbonates de baryum et de strontium, mais non avec le carbonate de magnésie. Le phosphate de calcium donne dans les mêmes conditions un précipité bleu.

L'auteur emploie cette réaction pour déterminer la nature du carbonate de chaux qui se trouve chez les animaux et chez les plantes.

R. Brauns. — Comparaison de la conchite et de l'aragonite (*Ibid.*, p. 134, n° 5; 1901).

M. R. Brauns fait remarquer que la substance constituant les coquilles et décrite sous le nom de *conchite* (Voir ce *Bull.*, p. 423) a des propriétés presque identiques à l'aragonite. En particulier, la valeur de l'angle des axes optiques, obtenue par le calcul au moyen des indices de la conchite, est de 16°, alors que la valeur 2V de l'aragonite est de 17°50′. Cette différence peut être attribuée à ce que les déterminations des indices de la conchite n'ont pu être faites d'une façon

précise. M. Brauns admet l'identité de la conchite et de l'aragonite.

M. Vater (Voir ce *Bulletin*, p. 440) arrive aux mêmes conclusions.

C.-H. Warren. — Mineralogical Notes (*Am. J. of. Sc.*, 4e série, vol. XI; mai 1901, p. 369).

Anorthite de Franklin Furnace (N. J.). — Des cristaux d'anorthite se trouvent dans un calcaire, qui montre des taches de graphique existant aussi dans les cristaux d'anorthite. Ce calcaire se trouve au contact du granite, et il est probable que l'anorthite a, ici, la même origine que les calcaires des Pyrénées et qu'elle est un minéral de contact comme l'a établi M. Lacroix. Les cristaux sont tabulaires et présentent les formes p (001) g^1 (010) m (110) t (1$\bar{1}$0) $o^{1/2}$ 201 $b^{1/2}$ (111). Quelques cristaux sont aplatis suivant p, d'autres sont au contraire beaucoup plus épais.

Cristaux de feldspath de Raven Hill, Cripple Creek, Colorado. — Ce feldspath se trouve dans une roche ressemblant à une phonolite, mais qui n'a pas été déterminée. Les cristaux ont les formes $o^{1/2}$ 201, qui est très prédominante, h^1 (010) p (001) et m (110). La macle de Carlsbad n'a pas été observée. Les cristaux sont plus ou moins kaolinisés.

Wolfram de South Dakota. — Les cristaux de wolfram se trouvent dans les cavités d'une roche très siliceuse. Ils sont allongés suivant l'axe b et atteignent 4 millimètres de longueur.

La forme (7.11.0) est nouvelle pour l'espèce. Le wolfram ne contient pas de manganèse.

Pseudomorphoses de scheelite en wolfram de Trumbull.

Conn. — Elles se trouvent dans des filons très siliceux associés à de la pyrite et à une petite quantité de bismuth natif. Elles atteignent 3 à 4 centimètres de diamètre et possèdent les formes simples de la scheelite $b^{1/2}$ (111) a^1 (101) (131) *p* (001).

A. J. Moses. — Mineralogical Notes (*Ibid.*, vol. XII, p. 98).

Iodure de mercure de Broken Hill (*Nouvelle-Galles du Sud*). — Il forme une mince couche rouge sur de la limonite impure de Broken Hill. Ce minéral est formé de très petits cristaux cubiques tronqués sur les angles du cube et ayant 1/10 de millimètre de diamètre. L'analyse quantitative n'a pu être faite avec la faible quantité du minéral trouvé. Cet iodure de mercure n'ayant ni la forme de la coccinite, qui montre une pyramide aiguë du système rhombique, ni la couleur, il est probable qu'il forme une espèce nouvelle, mais de nouveaux matériaux sont nécessaires pour l'étude.

Nouvelles formes de la pectolite de Bergen Hill. — Les cristaux, allongés suivant l'axe *b*, présentent les formes (001) (100) (101) (102) (1.0.25) (101) (540).

Nouvelles formes des cristaux d'atacamite du Chili. — Les deux formes (150) (120) sont nouvelles.

L'auteur décrit en outre des cristaux de réalgar de Snohomish Cy, Washington, qui ont les mêmes formes que ceux de Bosnie, décrits par Yrba; un chrysobéryl de New-York dans lequel $b^1/^2$ (111) domine et qui est maclé suivant (031). La description des cristaux est accompagnée des tableaux d'angles obtenus avec le goniomètre de M. Goldschmidt, et donnant la valeur des angles φ et ρ.

S.-L. Penfield. — Sur l'emploi des projections stéréographiques (*Ibid.*, t. XXXV, p. 1 ; et *Am. J. of Sc.*, janvier 1901, p. 1).

Le diamètre du cercle de projection étant toujours le même (par exemple 14 centimètres), on peut, avec l'emploi d'une échelle et d'un rapporteur établir d'après la dimension adoptée construire, graphiquement, sans l'emploi de formules, la projection stéréographique.

H.-H. Robinson. — Sur l'anatase et la brookite de Brindletown (Caroline du Nord) (*Ibid.*, septembre 1901. p. 180).

Anatase. — Les cristaux sont petits ($0^{mm},50$ à $1^{mm},25$) et tabulaires, par suite du grand développement de p (001). Ils ont les formes p (001), a^1 (101), a^3 (103), $b^1/^2$ (111). a^7 (107), $b^7/^2$ (117), b^{14} (1.1.28), b^{20} (1.1.40).

Brookite. — Les cristaux offrent un faciès différent de celui qu'on rencontre habituellement. Ils sont prismatiques et bien développés, suivant les axes a et b. Le grand développement des faces (322) est caractéristique. Cette dernière forme a bien été déjà observée par Kokscharow, mais seulement comme une face très étroite. Les cristaux présentent les formes nouvelles (101) (5.4.10) (324). Ils ont de $1^{mm},25$ à $2^{mm},50$ de largeur, $0^{mm},75$ à $1^{mm},75$ d'épaisseur et 3 à 7 millimètres de longueur.

S.-L. Penfield et W. Ford. — Sur la calavérite (*Ibid.*, p. 225).

Il résulte des nombreuses observations des auteurs que

la calavérite est monoclinique. Les cristaux sont prismatiques. Le développement des cristaux correspond à ce qui est habituellement observé dans l'épidote.

Les angles sont assez voisins de ceux de la sylvanite.

	Calverite	Sylvanite
$110 : \bar{1}10$	$= 53° 1'^*$	62° 56′
$111 : \bar{1}1\bar{1}$	$= 93° 59$	93° 30
$110 : 111$	$= 36° 38^*$	37° 3
$\bar{1}10 : 111$	$= 68° 45^*$	

Les rapports des axes sont les suivants :

Calaverite $a : b : c = 1{,}6313 : 1 : 1{,}1449$; $\beta = 89° 47' \, 1/3$
Sylvanite $a : b : c = 1.6339 : 1 : 1{,}1265$; $\beta = 89° 35'$

Les auteurs ont étudié les cristaux de plusieurs gisements.

Deux lois de macle ont été déterminées : 1° le plan de macle est dans la zone pa^1 à 90° de a^1 (101) ; 2° le plan de macle coïncide avec a^1 (101). Les mesures ont été faites avec le goniomètre à deux cercles de M. Goldschmidt, de telle sorte que les angles φ et ρ sont observés. Les formes observées sont très nombreuses.

La calavérite et la sylvanite ont pour formule Te^2 (Au, Ag), l'argent étant considéré comme isomorphe de l'or. Dans la sylvanite, l'or et l'argent sont dans les mêmes proportions, tandis que la calavérite est un tellurure d'or presque pur, pouvant à peine contenir jusqu'à 3,5 0/0 d'argent. Pour distinguer les deux minéraux, le procédé suivant peut être recommandé. Le minéral pulvérisé est attaqué dans un tube à essai par l'acide azotique bouillant ; l'argent et le tellure passent dans la solution, qu'on verse dans un autre tube à essai. On la dilue.

L'addition d'acide chlorhydrique donne un précipité abondant, si le minéral à essayer est de la sylvanite, et un précipité très faible, ou même un léger trouble, si l'on a affaire à de la calavérite.

Rectification à un travail précédent.

Par Fred. WALLERANT

Dans mon travail sur la symétrie apparente, un membre de phrase est tombé à l'impression et il en résulte une proposition erronée. Il est dit à la page 42 que dans la rotation autour d'un axe de symétrie apparente une rangée vient coïncider avec une autre rangée, il faut ajouter : « ou devient parallèle à une autre rangée.

ERRATUM

Page 310. — Tableau des angles. Au lieu de (110) (121) lire (110) ($12\bar{1}$). Au lieu de (101) (121) lire (101) ($12\bar{1}$).

Page 312. — Tableau des angles. Au lieu de (101) (121) lire (101) ($12\bar{1}$).

Page 314. — Dernière ligne. Au lieu de ces derniers, lire cette dernière face.

Page 316. — Tableau des angles. Au lieu de g^1m ($1\bar{3}0$) (110) lire g^2m (130) ($\bar{1}10$).

Plus bas au lieu de ($\bar{1}01$) (132) lire (101) ($\bar{1}32$).

Page 318. — Au lieu de 89°55'36", lire 89°55'30".

Le Secrétaire, gérant, PAUL GAUBERT.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1901. — BULLETIN N° 9.

Compte rendu de la séance du 12 décembre 1901.

PRÉSIDENCE DE M. WYROUBOFF.

M. LE PRÉSIDENT proclame membres de la Société :

M. H. ARSANDAUX, préparateur au Collège de France, présenté par MM. Fouqué et A. Lacroix ;

M. GLANGEAUD, professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, présenté par MM. Fouqué et Michel Lévy ;

M. T. KLOBB, professeur à l'École supérieure de pharmacie de Nancy, présenté par MM. Wyrouboff et Gaubert ;

M. MOISSAN, membre de l'Institut, présenté par MM. Hautefeuille et Wyrouboff.

M. LE PRÉSIDENT annonce une présentation.

analyses sont extrêmement analogues, et que la valeur de chacun des différents éléments varie peu en passant d'une bombe à l'autre ; cette constance de composition pour trois produits volcaniques, correspondant à des époques si différentes de l'éruption, conduit à conclure qu'il n'y a pas eu de différenciation importante du magma émis par le Giorgios au cours de l'éruption de 1866.

Cependant, il faut remarquer que, pour la bombe de 1867, il se produit une élévation très notable de la teneur en potasse, élévation qui ne continue pas à se manifester à la fin de l'éruption.

Si l'on cherche à interpréter, au moyen des théories actuelles de la différenciation des magmas, cette augmentation de teneur en potasse au milieu de l'éruption, augmentation ne s'accentuant ni ne se maintenant dans la suite, on n'arrive à aucune solution satisfaisante.

En effet, les théories soutenues par les différents pétrographes actuels exigeraient, pour être applicables à l'éruption de 1866 du Giorgios : 1° que la variation de composition du magma fût sensible ; 2° que cette variation présentât un caractère de continuité. Or, d'une part, au moment où cette différenciation aurait eu lieu, elle se serait manifestée bien faiblement, puisque la potasse seule a varié, les autres éléments restant très sensiblement semblables à ceux de la première et de la dernière projection ; d'autre part, que l'on envisage un mode de différenciation ou un autre, on est toujours amené à admettre la continuité dans la variation, c'est-à-dire que l'acidité ou la basicité du magma, se différenciant, doit s'accentuer de plus en plus, au fur et à mesure de l'évolution du phénomène volcanique ; la constatation faite est en contradiction avec cette idée.

Il résulte de ce qui précède que le magma du Giorgios a subi de faibles modifications de composition au cours de son

éruption, et que, sans chercher à interpréter l'anomalie concernant la quantité de potasse contenue dans la deuxième bombe, cette anomalie ne peut. de toute façon, s'expliquer au moyen des hypothèses sur la différenciation du magma.

II. — Si l'on considère les quatre compositions globales exposées plus haut, et leur moyenne, moyenne différant si peu de chacune d'entre elles que les écarts sont presque de l'ordre des erreurs analytiques, il sera légitime de considérer cette moyenne comme représentant en quelque sorte la composition globale du magma de l'éruption du Giorgios de 1866. Cette hypothèse sera en concordance avec la conclusion émise dans le paragraphe précédent que le magma du Giorgios a peu varié au cours de son éruption.

L'interprétation des résultats analytiques portera donc sur la moyenne des quatre analyses, moyenne ramenée à 100, défalcation faite de la perte au feu. Aux résultats ainsi obtenus sont adjoints, dans le tableau ci-dessous, les chiffres que fournit le calcul des nombres de molécules et d'atomes, tel qu'il est usité en Allemagne pour l'obtention des nombres Z, MAZ et AZ.

	Analyse moyenne (eau défalquée) ramenée à 100	Z	0/0	MAZ	0/0	AZ	0/0
SiO	66,48	110,80	72,54	110,80	61,49	332,40	69,32
Al^2O^3	17,28	16,94	11,10	33,88	18,81	84,70	17,66
Fe^2O^3	1,47	0,92	0,60	1,84	1,02	4,60	0,96
FeO	3,29	4,57	2,99	4,57	2,53	9,14	1,90
CaO	2,59	4,62	3,03	4,62	2,56	9,24	1,93
MgO	2,12	5,30	3,46	5,30	2,93	10,60	2,21
Na^2O	4,36	7,03	4,60	14,06	7,81	21,09	4,41
K^2O	2,41	2,56	1,68	5,12	2,85	7,68	1,61
	100,00	152,74	100,00	180,19	100,00	479,45	100,00

Cette interprétation peut se faire assez aisément par le

calcul des nombres de molécules des oxydes dosés devant être affectés aux différents éléments minéralogiques énumérés dans le paragraphe précédent, en tenant compte de l'importance de leur développement.

Dans les quatre lames minces examinées, les phénocristaux sont peu développés, constitués surtout par du labrador avec très peu d'augite et moins encore d'hypersthène; les microlites s'éteignent pour la plupart longitudinalement; ceux qui s'éteignent sous des angles différant de 0° offrent de très petits angles d'extinction; la plupart sont d'aspect cristallitique. La matière vitreuse est d'un brun très clair, très transparente, très prédominante par rapport aux cristaux.

En conséquence, dans le tableau qui va suivre, toute la chaux, la potasse, la soude, ont été calculées en albite et anorthite (1), en y affectant les proportions nécessaires de silice et d'alumine; l'oxyde ferrique est compté comme magnétite, la magnésie et l'oxyde ferreux (défalcation faite de ce qui est nécessaire pour la magnétite) sont comptés comme métasilicates (2), en tenant compte encore de la silice correspondante :

Albite	6,28 mol.	$(K^2, Na^2)O$	Soit 12,56 mol. albite
	6,28 —	Al^2O^3	
	37,68 —	SiO^2	

(1) Le calcul des feldspaths étant fait en adoptant les formules de l'albite et de l'anorthite proposées par M. Tschermak.

(2) On commet certes une erreur en affectant la totalité de la chaux et de l'alumine à l'élément feldspathique; en effet, différentes analyses des pyroxènes extraits des laves acides du Santorin montrent que ces minéraux renferment des proportions notables de chaux et de l'alumine (*Santorin*, pp. 195, 196, 198, 202). Mais cette erreur peut être négligée, en raison du très faible développement de ces minéraux dans la roche analysée.

Anorthite	3,03 mol. CaO		
	3,03 — Al^2O^3	Soit	3,03 mol. anorthite
	6,06 — SiO^2		
Magnétite	0,60 — Fe^2O^3	Soit	0,60 — magnétite
	0,60 — FeO		
Pyroxènes	5,85 — $(Fe, Mg)O$	Soit	5,85 — pyroxène
	5,85 — SiO^2		

Le calcul permet d'établir qu'en plus des proportions relatives des minéraux qui viennent d'être indiqués, il reste un excès constitué par 1,79 molécule d'alumine et 22,95 de silice qui sont libres.

A quel état pourraient être, dans le magma fondu, cette alumine et cette silice libres?

Cet excès d'alumine pourrait provenir de ce qu'on n'a pas fait intervenir l'alumine dans l'estimation des composés pyroxéniques; mais ces composés sont si peu développés dans la roche que la teneur habituelle de l'alumine des pyroxènes (il faut remarquer qu'ici le pyroxène dominant est l'hypersthène) est insuffisante pour expliquer l'excès d'alumine.

Elle pourrait être libre dans le verre sous forme de corindon, ou combinée à un peu de silice sous forme de sillimanite; mais, parmi les éléments provenant de la cristallisation de la roche, le microscope ne montre pas trace de ces minéraux. Quant à la possibilité de son existence sous forme de spinelle ou de cordiérite, il est difficile de l'admettre, puisque les résultats n'indiquent pas d'excès de magnésie dans le magma (1); de toute façon, le microscope ne montre pas ces minéraux à l'état cristallisé dans nos roches.

(1) J. MOROZEWICZ (*Tschermak's Mineral. und Petrograph. Mittheilungen*, 18e vol.).

Il y a donc incertitude au sujet de la nature de l'alumine libre déterminée par le calcul, quantité peu importante, d'ailleurs.

Il en est de même pour la silice libre ; on est amené à penser que cette silice, que le calcul montre exister en quantité considérable, entre dans la composition de combinaisons sursilicatées inconnues, colloïdes non décelables au microscope, ou bien, hypothèse plus vraisemblable, qu'elle est véritablement libre et qu'elle existe dissoute dans un magma fondu de composition comparable à celle de l'ensemble des minéraux dont la présence a été constatée au microscope.

Analyses de quelques minéraux.

Par M. H. Arsandaux.

Chargé par M. A. Lacroix d'étudier la composition d'un certain nombre d'échantillons de la Collection du Muséum, j'expose plus bas les résultats analytiques que j'ai obtenus dans le courant de l'année 1900-1901, me réservant de développer ultérieurement les conclusions qui pourront être tirées d'un ensemble plus complet d'analyses.

I. — Analyses de quatre carbonates rhomboédriques.

a. Dolomite provenant des marnes triasiques de Djelfa (Algérie).

Échantillon recueilli par M. Flamand.

b. Dolomite de Haidérenia, près Cambo (Basses-Pyrénées), en cristaux groupés dans un gisement de gypse triasique.

Échantillon recueilli par M. A. Lacroix.

c. Dolomite de Vieillevigne (Loire-Inférieure). Cristaux drusiques tapissant les fentes d'une dolomie, intercalée dans les schistes cristallins.

d. Ankérite en cristaux recouvrant des cristaux de sidérite, associés à du quartz dans le filon de sidérite de Saint-Pierre-d'Allevard.

L'examen en lame mince de ces quatre échantillons a permis de constater la pureté des trois premiers ; le quatrième, celui d'Allevard, renfermant de la calcite en fines zones au milieu de l'ankérite, dut être finement pulvérisé et purifié au moyen de l'iodure de méthylène, avant d'être soumis à l'analyse.

Dans le tableau ci-dessous, chaque colonne est divisée en deux, la partie de droite correspondant aux quotients (multipliés par 1.000) des résultats obtenus par les poids moléculaires correspondant aux oxydes pesés (les autres analyses que je publie seront exposées de la même façon).

	a D = 2,889				*b* D = 2,872			
CaO	30.0		536		30.3		541	
FeO	2.7	37		1071	0.9	13		1082
MnO	0.6	8	535		0.6	8	541	
MgO	19.6	490			20.8	520		
CO^2	46.8			1064	47.8			1086
	99.7				100.4			

	c D = 2,910				*d* D = 3,025			
CaO	30.0		536		28.2		503	
FeO	4.0	55		1066	17.2	239		1014
MnO	0,6	8	530		traces		511	
MgO	18.7	467			10.9	272		
CO^2	46.6			1059	42.5			965
	99.9				98.8			

	Dolomite de Traversella D = 2,883		
CaO	30.4		543
FeO	0.6	8	
MnO	0.3	4	539
MgO	21.1	527	

Il y a lieu de remarquer la grande analogie qui existe entre la dolomite de Traversella, analysée par M. Damour, et celle de Haidérénia.

Le calcul des coefficients moléculaires permet de constater que les carbonates analysés répondent sensiblement à la formule :

$$CO^3Ca, CO^3(Mg, Fe, Mn).$$

II. — Analyse de la forstérite de Kandy (Ceylan).

Cet échantillon, provenant de la collection Leschenault, constitue une roche compacte, jaune verdâtre, cireuse, dans laquelle M. A. Lacroix a reconnu par l'examen optique l'existence presque exclusive de cristaux enchevêtrés de forstérite, çà et là en voie de serpentinisation, ainsi que très peu de calcite et de phlogopite. Étant donné que la forstérite est un minéral peu commun, il était intéressant d'en faire l'analyse et d'en comparer les résultats avec ceux déjà publiés.

L'échantillon analysé provient du traitement de la roche pulvérisée, au moyen de l'iodure de méthylène, qui permet facilement d'éliminer la calcite, la phlogopite et les produits serpentineux.

	Forstérite de Kandy D = 3,248			Forstérite de la Somma D = 3,243		
SiO^2	42,8		713	42,41		707
FeO	2,6	36	1421	2,33	32	1364
MgO	55,4	1385		53,30	1332	
	100,8			98,04		

L'examen du tableau ci-dessus montre l'analogie qui existe entre la forstérite de Ceylan et celle de la Somma analysée par Rammelsberg.

Le calcul des coefficients moléculaires donne à la forstérite de Ceylan une formule correspondant à :

$$SiO^4(Mg, Fe)^2.$$

III. — Analyse de la titanomagnétite du Croustet, près le Puy (Haute-Loire).

Le minéral analysé se présente assez souvent sous la forme d'octaèdres réguliers; sa cassure, un peu vitreuse, a l'éclat du graphite; il paraît être l'élément le plus abondant des sables titanifères d'origine volcanique d'Auvergne (1).

Il se distingue de l'ilménite par un magnétisme très net et par sa forme.

	Titanomagnétite du Croustet D = 5,065			
TiO^2	5,3	662	$TiO^2FeO + Fe^2O^3$:	4264
Fe^2O^3	57,7	3606		
FeO	34,5	4791	$FeO + MnO + MgO$:	4381
MnO	0,9	125		
MgO	0,5	127		
	98,9			

(1) A. Lacroix, *Minéralogie de la France*, t. III, p. 192; 1901.

Titanomagnétite du Muggelsee (d'après Rammelsberg)

D = 5,075

TiO^2	5,2	650	$TiO^2FeO + Fe^2O^3$:	4485
Fe^2O^3	61,36	3836		
FeO	30,25	4201		
MnO	1,23	173	FeO + MnO + MgO :	3844
MgO	0,48	120		
	98,52			

La titanomagnétite du Croustet, qui offre une densité voisine de celle du Muggelsee près Berlin, ainsi qu'une teneur presque identique en acide titanique, en diffère par les proportions d'oxyde ferreux et ferrique.

Le calcul des coefficients moléculaires permet, si l'on admet l'existence d'une molécule $FOeTiO^2$, de donner à la titanomagnétite du Croustet la formule :

$$[(FeO\ TiO^2, Fe^2O^3)\ (FeO, MnO, MgO)],$$

convenant à un minéral de la famille des spinellides. Le même calcul, appliqué aux résultats de Rammelsberg, ne conduit pas à un semblable résultat.

Sur les figures d'efflorescence.

Par M. Paul Gaubert.

Les faces d'un cristal, qui s'effleurit lentement à la température ordinaire ou rapidement quand on le chauffe. montrent, au début de l'efflorescence, des taches, qui, d'après les observations de Pape (1), sont elliptiques ou cir-

(1) C. Pape, *Ueber das Verwitterungs Ellipsoïd wasserhaltiger Krystalle* (*Pogg. Ann.*, t. 124, p. 329, 1865, et t. 125, p. 513; et 138, p. 364; 1868.)

C. Pape fait remarquer, dans le second mémoire, que Grailich, dans une

culaires, suivant le degré de symétrie de la face considérée. Les axes de l'ellipse ont toujours la même direction et la même grandeur relative. Ces cercles et ces ellipses sont les sections d'un certain ellipsoïde (ellipsoïde d'efflorescence ou de décomposition), dont les axes sont désignés par Pape sous le nom d'*axes chimiques*.

D'après ces faits, on peut penser que la décomposition, autour d'un point quelconque de l'intérieur du cristal, progresse d'une façon inégale, suivant les différentes directions, et que la partie décomposée est limitée extérieurement par une surface ellipsoïdale. L'ellipsoïde dépend de la conductibilité thermique dans le cristal et d'autres propriétés de ce dernier, représentées aussi par un ellipsoïde (Sohncke) (1). Schrauf (2) admet que la forme des figures d'efflorescence est en relation avec le clivage. Le sulfate de zinc, qui ne possède qu'un clivage, lui fournit l'exemple sur lequel s'appuie son hypothèse. Dans cette substance, le grand axe de l'ellipse d'efflorescence est parallèle à l'intersection du clivage avec la face sur laquelle se produit la figure considérée. Mais, sur la face de clivage, on devrait avoir un cercle; or Pape a observé des figures elliptiques. Ce fait est aussi en contradiction avec l'explication de Exner (3), qui admet que la forme des figures est en relation avec celles de dureté, et, par conséquent aussi, avec le clivage.

Weiss (4), en étudiant le gypse, a constaté que les taches sur g^1, au lieu d'être elliptiques, sont souvent quadrangu-

note de la traduction qu'il a faite de Miller : *Lehrbuch der Krystallographie*, Vienne, 1856, dit que les figures de décomposition sont très régulières, et qu'apparemment elles sont en relation avec le système cristallin.

(1) Sohncke, *Ueber das Vervitterungsellipsoid rhomboïdrischer Krystalle* (*Zeitsch f. Krystall.*, t. IV, p. 225 ; 1880).

(2) Schrauf, *Phys. Min.*, t. II, p. 53.

(3) Exner, *Untersuchungen über de Harle an Krystallflachen*, Vienne, 1873.

(4) Weiss, *Deutsch. geol. Ges.*, 1877, t. XXIX, p. 211.

laires. Elles ont été aussi bien étudiées par Sohncke (1). Ces figures sont divisées en quatre secteurs par deux diagonales, faisant respectivement avec l'axe vertical des angles de 42° et 39° (Sohncke). Les stries qui se trouvent dans les cadrans supérieur et inférieur font un angle de 2°,7 à 3° avec l'axe vertical. Sohncke a montré que le rapport des deux diamètres était variable avec la température. Si l'on désigne par l le diamètre longitudinal, dirigé suivant l'axe vertical du gypse, et par q le diamètre transversal, le rapport $\frac{q}{l}$ diminue avec la température. Il est égal à 1,180 à 105°, 0,718 à 125°, 0,667 à 160°. On peut dire qu'à mesure que la température s'élève, et que, par conséquent, la décomposition est moins lente, cette dernière se fait plus rapidement suivant l'axe vertical que sur la direction qui lui est perpendiculaire.

Tel est le phénomène observé quand le gypse est chauffé dans l'air. Il est tout autre, comme on le verra plus loin, quand il est plongé dans un liquide bouillant, à une température assez élevée pour que la déshydratation du gypse puisse se produire (glycérine, huile, paraffine, baume de Canada, etc.).

M. Blasius (2) a constaté que, tandis que les faces des cristaux l'alun de chrome, de sulfate de fer, de sulfate de cuivre, donnent dans l'air des cercles ou des ellipses, dans un liquide, comme l'alcool absolu, il se produit des formes ressemblant beaucoup plus à une figure de corrosion qu'à une figure d'efflorescence.

L'alun de chrome, par exemple, donne dans l'alcool absolu des figures à contours triangulaire, quadrangulaire ou hexagonal.

(1) Sohncke, *Zeitsch. für Kryst.*, t. XX, p. 1 ; 1898.
(2) Blasius, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. X, p. 221 ; 1885.

Nous voyons donc qu'il semble acquis que les corps qui s'effleurissent dans l'air donnent généralement des figures circulaires ou elliptiques, à l'exception du gypse, et que, s'ils sont déshydratés dans un liquide, il y a production de figures qui sont intermédiaires entre les figures de corrosion et les figures d'efflorescence.

J'ai fait quelques observations nouvelles et répété beaucoup des expériences de Pape et de Sohncke, qui m'ont amené à donner une interprétation nouvelle des figures d'efflorescence.

Je vais d'abord décrire les faits suivants, qui serviront de base à mon interprétation :

Gypse. — Un des procédés les plus commodes consiste à chauffer dans une goutte de baume de Canada ou de glycérine, sur une lame de verre, une lame de clivage de gypse, assez mince pour que la teinte de polarisation soit le gris de premier ordre. L'opération terminée, le baume est recouvert d'une lamelle couvre-objet, et la préparation peut ainsi être conservée indéfiniment. Dans ce cas, j'ai constaté qu'il se produit au commencement de la déshydratation des aiguilles cristallines très allongées, suivant l'axe vertical du gypse (*fig.* 1), plus biréfringentes que ce minéral, et s'éteignant suivant leur longueur. Elles atteignent souvent 1 centimètre de longueur et un demi-millimètre de large. La même préparation montre des bandes de dimensions différentes ; mais les proportions relatives sont à peu près les mêmes (la longueur est en moyenne égale à une vingtaine de fois la largeur), si l'on considère naturellement celles qui ne sont pas limitées à leurs deux extrémités (*fig.* 2, *a*) par le clivage du gypse transversal à l'axe vertical.

Les aiguilles sont souvent terminées à leurs deux extrémités par une droite faisant avec le clivage h^1 un angle différent avec la bande considérée, mais voisin de 42° (*fig.* 2 *b*).

Différentes lames ont donné respectivement 43°, 44°, 42°, 41°, 42°, 45°, 40°. Quelquefois, on a encore une autre face. L'angle est alors égal à 35° environ.

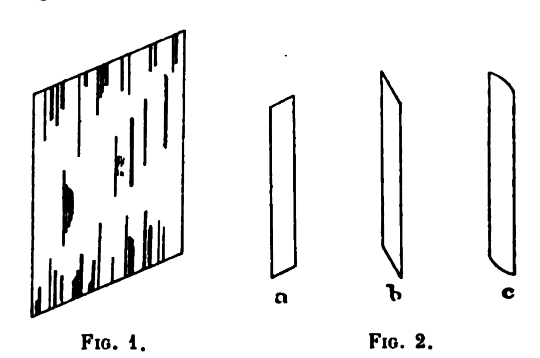


Fig. 1. Fig. 2.

L'examen avec un fort grossissement montre que les lignes dont il vient d'être question ne sont pas des droites, mais qu'elles limitent un grand nombre de cristaux. La bande est, en somme, formée par des cristaux fibrillaires placés les uns à côté des autres. Cette fibrosité donne l'opacité. L'existence de cette fibrosité est facile à constater, on n'a qu'à essayer de lacérer la lamelle de gypse avec une aiguille très fine, on arrive à isoler à ses extrémités une de ces lames et l'on peut voir alors les cristaux filiformes se séparer. Il est aussi facile de vérifier que toutes les fibres cristallines se trouvent sur un seul plan, de telle façon que souvent la lame, même lorsqu'elle atteint 2 mm. de large, paraît être unique. Il eût été très intéressant de voir les formes terminant ces fibrilles, mais, à cause de leur petitesse, je n'ai pas réussi.

On s'explique ainsi pourquoi l'angle que fait l'ensemble des extrémités de ces fibres avec l'axe vertical est variable, puisqu'il ne correspond pas à une direction cristallographique unique, mais à un ensemble. Quelquefois, la bande ainsi pro-

duite est terminée par une ligne courbe (*fig.* 2*c*) plus ou moins régulière ayant parfois la forme d'un arc d'ellipse. J'ai dessiné cet arc à la chambre claire en employant un fort grossissement et j'ai calculé s'il pouvait appartenir à une ellipse. Les résultats fournis par plusieurs courbes ne sont pas très concordants avec une ellipse.

Si l'on opère avec une lame un peu épaisse, les bandes ne traversent pas toute l'épaisseur du gypse ; il faut, pour que cela ait lieu, chauffer plus longtemps, et alors la masse devient beaucoup plus fibrillaire et par conséquent plus opaque.

Les figures d'efflorescence formées dans l'air doivent leur forme à la production de petits cristaux qui ont trois orientations différentes, comme l'indique la figure donnée par Weiss (1), et reproduite par Sohncke (2). Les propriétés optiques de ces cristaux ont été étudiées par M. A. Lacroix (3) sur des fragments de gypse complètement déshydratés Les figures d'efflorescence correspondent aux rosettes qu'il a décrites. Il est inutile de revenir sur ces figures, qui sont suffisamment connues.

Sulfate de cuivre. — Les figures d'efflorescence s'obtiennent très facilement. Elles ont été bien étudiées par C. Pape, qui les a aussi figurées et mesurées. Elles ont à peu près la forme d'une ellipse, et le rapport des deux axes de l'ellipse sur les différentes faces est le suivant (Pape) :

		Valeurs observées.	Valeurs calculées.
g^1	(010)	1,850	(1,850)
g^3	(120)	2,356	2,306
t	(110)	2,443	2,449
$d^{1/2}$	(111)	1,513	(1,537)
	(1.13.3)	cercle	1,102

(1) Weiss, *Deutsch. geol. Ges.*, 1877, p. 211.
(2) Sohncke, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXX, p. 2.
(3) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, 1898, t. 126, p. 360 et 553.

Les axes de l'ellipsoïde calculés avec les valeurs 1,850 et 1,537 sont : $a : b : c = 0{,}5403 : 0{,}3963 : 1$.

J'ai pris, pour répéter les observations de Pape, de très petits cristaux ayant de 1 à 5 millimètres de longueur et ayant la face qui devait être examinée aussi parfaite que possible.

L'examen des petites figures d'efflorescence pouvait ainsi être fait au microscope, et un fort grossissement était employé. Les cristaux étaient mis dans un dessiccateur ou collés sur une lame porte-objet qui était placée, pendant quelques fractions de seconde, sur une flamme. L'examen des figures montre que leur contour n'est pas régulier, et, bien que la ligne de séparation, entre la partie effleurée et la surface intacte du cristal, ressemble à une ellipse, le contour est sinueux. Les mesures du plus grand et du plus petit diamètre, faites sur les figures de la face g^1 d'un cristal passé sur la flamme et, par conséquent, obtenues à haute température, ont donné les résultats indiqués dans la colonne I. La lame couvre-objet a été ensuite placée dans un dessiccateur et les figures ont été mesurées de nouveau ; les résultats sont donnés dans la colonne II.

I	II
1,6	2,3
1,7	2,2
1,6	2,5
1,6	2,2
1,5	2,1
1,6	2,1

Les figures se sont donc allongées en continuant à se développer dans l'air sec ; mais le tableau ci-dessus indique que l'allongement dans un sens ne s'est pas fait également dans les différentes figures. Ces dernières ayant été dessinées à la chambre claire, des ellipses ont été construites

avec les axes des figures, la coïncidence est loin d'être satisfaisante. Les figures d'efflorescence, vers les deux extrémités du grand axe, sont plus larges que l'ellipse ; cependant, dans quelques cas, l'inverse a lieu. Sur dix figures bien choisies et ayant l'apparence elliptique, trois offraient le dernier cas et six le premier. Je n'insisterai pas longtemps sur ces figures, je ferai remarquer que leur contour est sinueux alors même que la face considérée est parfaite, que les rapports des deux diamètres sont assez variables pour la même face. Ainsi une face g^1, chauffée directement sur la flamme d'une lampe à pétrole, a donné dans ce cas une dizaine de figures, ayant environ 1 millimètre de longueur et dont le rapport des axes est à peu près 1,3. La même face, chauffée sur une autre partie, mais un peu moins longtemps, n'a donné des figures qu'une demi-minute après le chauffage. Celles-ci, beaucoup plus allongées que les premières, mais plus petites, ont un rapport d'axes de 2,5, rapport qui a diminué, par l'accroissement inégal des figures, pour tomber à 1,8. La variation de ces figures est peut-être due à ce qu'il se produit des hydrates différents à chaque température. A chaque sulfate hydraté prenant naissance correspondrait une figure d'efflorescence particulière, comme C. Pape l'a déjà pensé.

La plupart des figures de la face *m* ont plutôt un contour hexagonal qu'un contour elliptique. L'hexagone a un angle en haut, un angle en bas et deux côtés verticaux, généralement très allongés.

Dans une autre expérience, en passant un cristal sur la flamme d'une lampe, il se produit des figures en apparence elliptiques, dont le contour est formé par d'autres figures d'efflorescence beaucoup plus petite. La partie intérieure est presque intacte, si ce n'est le centre. Il arrive même qu'il existe deux figures concentriques formées de la même

façon; dans ce cas, le centre paraît inattaqué. D'autres figures assez curieuses peuvent se produire si l'on chauffe le cristal sur la flamme. Toute la partie en dehors de ces figures à intérieur intact peut montrer de petites figures de corrosion, et l'on a alors des taches elliptiques bleues sur fond blanc.

Malgré cette variété de figures, il y a pour chaque face et pour chaque mode de leur production une forme générale constante, mais beaucoup moins régulière que ne l'a indiqué Pape. Cependant, les figures que donne cet auteur (*fig.* 1, pl. 11, *Pogg. Ann.*, t. CXXXIII) sont loin d'être régulières et de donner de bonnes mesures.

Les cristaux de sulfate de cuivre, chauffés dans l'huile, montrent des figures radiées plus ou moins elliptiques, fermées par des bandes en creux aboutissant à un point central.

Alun de chrome. — Les figures d'efflorescence de l'alun de chrome sont circulaires en apparence et, si elles sont examinées à un faible grossissement, elles paraissent même être des cercles parfaits. Mais celles qu'on observe sur des cristaux microscopiques avec un fort grossissement ont un contour nettement polygonal et rappelant celui des figures de corrosion. Blasius a observé les figures se formant dans l'alcool presque absolu. Il s'est produit de véritables figures de corrosion, identiques à celles qui se produisent dans l'eau.

Les cristaux d'alun de chrome, chauffés dans l'huile, ne donnent pas des figures semblables à celles qui sont obtenues dans l'alcool, mais identiques à celles qui se forment dans l'air. Elles sont beaucoup plus petites que ces dernières, et toute la surface se recouvre rapidement d'une couche homogène de matière décomposée.

Il est à remarquer que l'huile n'a aucune action sur le chrome, tandis que l'alcool, contenant un peu d'eau, dissout

légèrement l'alun et qu'il est naturel qu'il se produise des figures de corrosion.

Les corps efflorescents ne sont pas les seuls à donner des figures elliptiques ou circulaires ; les substances qui se décomposent peuvent aussi en donner de semblables, s'il se produit un corps en petits cristaux ou amorphe se déposant à la surface de la face cristalline.

Les rhomboèdres de calcite, chauffés à haute température, montrent sur leurs faces des figures presque circulaires. Avec beaucoup de précautions, on peut obtenir de bonnes figures avec les autres carbonates rhomboédriques.

D'autres expériences ont été faites sur l'acétate de cuivre, le sulfate de soude, etc.; elles n'ont rien donné de particulier.

Les observations qui précèdent et celles qui sont déjà connues conduisent aux conclusions suivantes :

1° Les figures d'efflorescence ont des contours grossièrement elliptiques ou circulaires, lorsque le cristal est effleuri au contact de l'air et que la matière nouvelle qui s'est formée n'est pas orientée sur le cristal qui lui a donné naissance. Les contours paraissent d'autant plus réguliers que la substance formée est à grains plus fins ;

2° Les figures d'efflorescence ont des contours polygonaux, si les cristaux prenant naissance sont de grande taille ou s'ils sont orientés sur le corps primitif (gypse dans l'air) ;

3° Il se produit des figures de corrosion si la substance est déshydratée dans un liquide agissant sur le cristal et si les cristaux du corps produit ne sont pas orientés sur le minéral

4° Il se forme des taches qui ne correspondent ni à des figures de corrosion, ni à des figures d'efflorescence, si le corps nouveau qui se produit a la même orientation que le premier (gypse chauffé dans un liquide).

Ces faits nous amènent à nous demander s'il y a un

ellipsoïde d'efflorescence, si la décomposition ayant commencé à un point donné du cristal se fait inégalement dans les différentes directions, de façon que la surface séparant la partie intacte de la partie décomposée soit un ellipsoïde, dont la forme est en relation avec la symétrie du cristal.

On a vu plus haut que, dans la plupart des cas, les figures d'efflorescence n'ont pas un contour suffisamment régulier pour que leur forme elliptique ne soit pas contestable. On pourrait penser que l'irrégularité est due à l'imperfection de la face. J'ai comparé, pour me rendre compte de l'influence de cette imperfection, le contour de figures de conductibilité, obtenues autrefois par Ed. Jannettaz sur des faces de cristaux de sulfate de cuivre, avec celui des figures d'efflorescence obtenues sur le même échantillon. Le premier est de beaucoup plus parfait.

Les figures d'efflorescence donnent, en somme, de mauvaises mesures, et les erreurs peuvent être très fortes. Ainsi Pape a trouvé que les corps rhomboédriques ont des figures circulaires, alors que Sohncke(1) a montré que celles-ci sont elliptiques. Pape croyait aussi que les figures du gypse sont souvent elliptiques, alors qu'elles ne le sont jamais. Elles peuvent avoir grossièrement la forme d'une ellipse ; mais l'examen microscopique montre que les contours sont différents de cette dernière.

Ce qui est certain, c'est que, lorsqu'un cristal se transforme en une autre substance, soit par perte d'eau, soit d'une autre façon, si le nouveau corps qui se produit a la même orientation que le premier, il n'y a pas de figure d'efflorescence. Dans ce cas, la surface de séparation est plane, au moins en grande partie ; tel est le cas du gypse. Nous avons vu que, pour ce corps, il y avait production de bandes formées par-

(1) Sohncke, *Zeitschr. f. Kryst.*, t. IV, p. 225.

fois d'un grand nombre de fibrilles disposées parallèlement côte à côte. La droite qui limite aux deux extrémités les bandes fait un angle à peu près constant avec l'axe vertical. Ce cristal de gypse se décompose donc suivant h^1 et suivant une autre direction. La face h^1 du gypse coïncide avec une face du gypse déshydraté ; quant à l'autre face de séparation, elle est beaucoup moins régulière ; est-ce le gypse qui se décompose suivant la face, ou bien est-ce la face terminale du nouveau corps qui entraîne la formation de la face du gypse? Le gypse n'est pas favorable pour résoudre la question. J'ai opéré à différentes températures pour rechercher, sans obtenir de résultats, s'il se produit d'autres faces terminales.

Le gypse montre aussi que la transformation se fait beaucoup plus rapidement dans une direction que dans celle qui lui est perpendiculaire.

Pour le gypse se déshydratant dans l'air, il y a production de cristaux, orientés comme lorsque le cristal est chauffé dans un liquide ; mais l'orientation se fait dans plusieurs directions. Il n'y a pas du tout d'ellipsoïde d'efflorescence.

La forme elliptique n'étant pas constante dans les cristaux, on est amené à penser qu'elle est secondaire, que la décomposition autour d'un point, tout en se faisant inégalement dans différentes directions, comme dans le gypse, par exemple, ne peut être représentée par une ellipsoïde. Ce que nous savons sur le gypse permet de supposer que la surface de séparation entre le cristal intact et la substance qui s'est formée à ses dépens est un plan. Si les éléments produits sont très ténus, la ligne de séparation sera une ligne droite ou une ligne polygonale, dont les côtés seront très petits et pourront simuler une courbe régulière. La décomposition commençant autour d'un point, les petits cristaux qui prennent naissance peuvent s'orienter dans toutes les directions autour du point d'origine, et alors on

aura encore une figure elliptique ou circulaire. Cette hypothèse n'a rien d'extraordinaire, puisque beaucoup de cristaux forment des sphérolites, et c'est même une tendance de la plupart des substances de donner, quand on fait évaporer rapidement leur solution sur une lame de verre, des cristaux partant tous d'un même point.

Enfin des faits qui ont été exposés dans cette note et de ce que l'on sait sur les figures de corrosion et les faces de dissolution, on peut conclure qu'un cristal en voie de destruction lente est terminé par des faces planes, qu'il soit en contact avec un fluide ou avec un corps solide ayant pris naissance à ses dépens.

Sur deux nouveaux groupes d'enclaves des roches éruptives.

Par M. A. Lacroix.

Depuis la publication de mon livre sur les *Enclaves des roches volcaniques* (1), j'ai continué à recueillir de nombreux documents sur cette question. Je me propose, dans cette note, d'appeler l'attention sur deux nouveaux groupes d'enclaves, distincts des deux catégories dont je me suis occupé antérieurement : les *enclaves énallogènes* et les *enclaves homœogènes*. J'ai décrit déjà une partie des enclaves dont il va être question, mais sans leur donner l'interprétation à laquelle me conduit aujourd'hui leur étude comparative, éclairée par de nouvelles observations.

Je rappellerai que j'appelle *enclaves des roches volcaniques*, et, d'une façon plus générale, *enclaves des roches éruptives*, tous les fragments de roches englobés par celles-ci.

Les *enclaves énallogènes* sont des fragments arrachés par

(1) Mâcon, Protat, 1 vol., 710 p. et 8 pl.; 1893.

le magma en voie de mise en place et n'offrant avec celui-ci que des rapports occasionnels; tels sont les morceaux de schistes, de calcaires, de quartz, etc., enclavés dans un trachyte, un basalte ou un granite.

Les *enclaves homœogènes* sont des fragments de roches, consolidées en profondeur aux dépens du magma lui-même, antérieurement à sa mise en place définitive et charriés par celui-ci. Elles peuvent résulter de la consolidation totale du magma. homogène ou hétérogène, pendant un arrêt souterrain de celui-ci (*sanidinites* des trachytes, etc.), ce sont alors les *enclaves homœogènes complètes;* ou bien provenir de la concentration dans le magma, par voie de cristallisation, de quelques-uns de ses minéraux les plus basiques : ce sont les *ségrégations* (*nodules à hornblende* des basaltes, etc.).

A ce propos, bien que j'attache peu d'importance à la nomenclature, mais beaucoup aux idées qu'elle doit traduire, je crois devoir répondre, en passant, à des critiques qui ont été faites à mon terme d'enclave homœogène. M. Holland (1) propose de le rejeter et de le remplacer par le mot *autolith* (2). La critique est basée sur une méprise philologique; le mot homœogène, dit M. Holland, doit être traduit en anglais par *homogeneous* (homogène) ; or le mot homogène a une signification précise dans le langage scientifique, notamment dans celui des mathématiciens, et l'on ne saurait changer ce sens.

Enclave *homogène* serait en effet un non-sens, aussi n'ai-je pas parlé d'homogène, mais d'*homœogène*. Traduire ce mot par *homogeneous* constitue un contre-sens,

(1) *Mém. Geol. Survey of India*, t. XXVIII, p. 217.

(2) Par opposition à *xénolith:* ce terme a été proposé, en 1894 (*Transact. Royal Irish Acad.*, XXX, 493), par M. Sollas pour désigner des enclaves énallogènes d'un granite d'Irlande.

ὅμος (racine de homogène), semblable dans toutes ses parties, ne devant pas être confondu, avec ὅμοιος (que j'ai choisi pour racine d'homœogène), semblable dans le sens d'analogue. Le néologisme français homœogène doit donc être traduit en anglais par le néologisme *homœogeneous*, et alors la critique ne porte plus.

D'autre part, M. Harker a proposé (1) de substituer aux désignations d'énallogènes et d'homœogènes celles d'*accidentals* et de *cognates*. La critique faite au mot d'homœogène repose également sur une méprise. En effet, M. Harker dit en substance : la similitude de composition minéralogique n'est, en aucune façon, une preuve de communauté d'origine pour les roches ignées, et l'on pourrait citer facilement des cas (par exemple des gabbros enclavés dans le granite) qui seraient placés par Lacroix parmi ses enclaves énallogènes, mais dans lesquels il existe, malgré des différences de composition, des relations essentielles et étroites entre les deux roches associées. Plutôt que de redéfinir des mots connus, ajoute M. Harker, il est préférable d'en créer de nouveaux et de les baser non sur des analogies ou des différences de composition, mais sur des analogies d'origine entre les roches enclavées et enclavantes.

Le principe énoncé par M. Harker est précisément celui qui m'a guidé dans l'établissement des deux groupes d'enclaves en question et dans leur nomenclature ? Le groupe important des enclaves homœogènes, plus basiques que la roche englobante, est là pour montrer que la critique précitée n'est pas justifiée. Je n'hésite pas à considérer comme une enclave homœogène du granite un fragment de gabbro, s'il est

(1) *J. of Geology*, VIII, 1900, 392. — M. Harker emploie le mot *xénoliths* à la place de celui d'*enclaves* en général. Ce sens est donc différent de celui que lui donnent M. Sollas (1894), qui l'a créé, et M. Holland.

démontré que les deux roches proviennent réellement du même magma. Les roches constituées par du labrador et de la hornblende, que j'ai décrites dans mon chapitre des *Enclaves homœogènes*, et qui se trouvent en enclaves dans les trachytes leucocratiques à anorthose de Menet, montrent, parmi beaucoup d'autres exemples que je pourrais rappeler, que la similitude de composition minéralogique n'est pas le critérium qui me sert en la circonstance.

Homœogène signifie, du reste, d'*origine* analogue et non de *composition* analogue : ce terme est, me paraît-il, plus précis, dans le sens même que recherche M. Harker, que le mot *cognate* qu'il propose ; ce dernier indique une parenté qui peut être comprise de diverses façons.

Les deux catégories d'enclaves qui font l'objet de cette note sont celles des *enclaves polygènes* et des *enclaves pneumatogènes*.

ENCLAVES POLYGÈNES.

Une enclave *polygène* est un agrégat cristallin, simulant une enclave homœogène, mais dérivant d'un fragment de roche englobé par le magma. La transformation peut être le résultat soit de la dissolution de ce fragment étranger préalablement métamorphisé, dans le magma, qui perd ainsi localement ses caractères chimiques et minéralogiques, qui s'endomorphise (*enclaves endopolygènes*), soit de la transformation du fragment étranger sous l'influence des émanations venues du magma et sans dissolution dans celui-ci (*enclaves exopolygènes*).

Au cours d'une mission en Grèce j'ai recueilli dans les champs de laves entourant le cratère du Georgios les documents nécessaires à la démonstration définitive des phénomènes d'endomorphisme que j'ai brièvement indiqués

op. cit., 261), en décrivant des enclaves recueillies à Santorin par M. Fouqué, lors de l'éruption de 1866-1867.

Celles de ces enclaves se rapportant au sujet qui m'occupe ici appartiennent aux trois catégories suivantes :

1° Cornéennes, essentiellement constituées par du pyroxène, de la wollastonite, du mélanite, de la humboldtilite de la calcite généralement transformée en anhydrite. Ces cornéennes présentent d'extrêmes variations de composition minéralogique et de structure dans le même lit d'un même bloc ;

2° Géodes scoriacées, hérissées de cristaux de wollastonite, de mélanite et de humboldtilite ;

3° Nodules ovoïdes, généralement creux, à périphérie compacte et à remplissage géodique, formés par des cristaux d'anorthite, de magnétite, d'augite d'un vert noir, d'olivine, de sphène et parfois de wollastonite ; des nodules plus petits présentent la même composition, mais le pyroxène (*fassaite*) y est plus abondant et vert.

Les principaux minéraux de ces divers types d'enclaves ont été autrefois analysés par M. Fouqué et mesurés par Hessenberg. Les cornéennes et les géodes à wollastonite sont, sans aucun doute, le résultat de la transformation *exomorphe* de calcaires argileux et siliceux, dont j'ai du reste trouvé des fragments intacts ou imparfaitement transformés, associés à ces cornéennes. Je puis démontrer que les autres produits sont, au contraire, le résultat de la transformation *endomorphe* du magma volcanique grâce à l'absorption par celui-ci de calcaires et cornéennes : ce ne sont donc point des ségrégations basiques du magma andésitique, ainsi que beaucoup de pétrographes le supposent.

La parenté de ces diverses enclaves ne saute pas aux yeux dès le premier abord, sauf dans le cas où l'on trouve

dans les nodules à anorthite de géodes tapissées de cristaux de wollastonite; mais, l'étude microscopique d'un nombre suffisant d'échantillons conduit à des résultats probants.

Sous une apparente analogie de caractères extérieurs, les nodules à anorthite présentent d'extraordinaires variations de structure et de composition minéralogique quantitative. Les parties voisines de la zone libre des géodes sont généralement holocristallines et grenues, très pyroxéniques. La structure est soit celle d'un gabbro, soit celle d'un microgabbro, très riche en grains d'augite avec des phénocristaux d'anorthite. La partie périphérique des nodules présente toutes les variétés possibles des structures diabasiques et microlitiques, depuis les types presque holocristallins jusqu'à d'autres extrêmement riches en verre et cristallitiques; ces diverses structures peuvent s'observer sous forme de taches dans un même échantillon. La proportion d'augite y est très variable; quant aux feldspaths, ils sont basiques, souvent zonés, allant de l'anorthite au labrador.

Quand il existe de la wollastonite, elle est groupée radialement sur le bord de cavités ou implantée sur de petits nodules non digérés de cornéenne à wollastonite et pyroxène.

Les mêmes particularités de structure se retrouvent dans le support scoriacé des géodes à wollastonite, mais les types vitreux et cristallitiques y dominent. Les éléments des cornéennes (wollastonite souvent fibreuse et chondritique, mélanite, humboldtilite) se mélangent avec les feldspaths et l'augite (renfermant quelquefois des grains de perowskite), établissant ainsi le passage minéralogique entre les cornéennes et les nodules à anorthite.

Enfin, des types pétrographiques analogues, tantôt riches en wollastonite, tantôt, au contraire, très feldspathiques,

s'observent fréquemment sur quelques millimètres, entre l'andésite normale et les cornéennes, ou enfin dans des veinules de quelques centimètres d'épaisseur, injectées par l'andésite dans de grosses enclaves de cornéennes.

Les faits qui viennent d'être résumés montrent qu'il existe tous les passages possibles entre l'andésite pauvre en chaux (essentiellement constituée par des microlites d'oligoclase acide avec quelques phénocristaux de labrador, d'hypersthène et d'augite) et des cornéennes résultant de la transformation de calcaires, passages s'effectuant par l'intermédiaire de roches très calciques, riches en pyroxène, en plagioclases basiques (labrador à anorthite) et contenant parfois de l'olivine, c'est-à-dire de roches de la famille du basalte. Il est facile de suivre pas à pas les diverses phases de la transformation de l'andésite, et aucun cas d'endomorphisme ne peut être établi d'une façon plus saisissante que celui-ci.

Lorsque la digestion des calcaires s'est effectuée au moment où le magma n'était pas en mouvement rapide, la portion endomorphisée présente des passages insensibles avec la roche normale ambiante et elle se présente avec un faciès de *traînée* (*schlier*). Dans le cas contraire, une fois cristallisée, elle a été entraînée par la lave en voie d'écoulement; on la voit alors finir brusquement au contact de la roche normale et offrir l'apparence d'une enclave.

C'est cette partie endomorphisée d'un magma éruptif à faciès de traînée ou d'enclave que j'appelle une *enclave polygène;* je la qualifie, en outre, d'enclave *endopolygène* pour rappeler son origine et la distinguer d'une autre catégorie dont il va être question plus loin.

L'étude des contacts du granite et des assises paléozoïques de la région de Quérigut (Ariège) m'a fait y découvrir une formation grandiose d'enclaves polygènes au milieu du gra-

nite (1). Cette roche métamorphise d'une façon intense une succession de schistes, de quartzites et de calcaires. Près des contacts, elle renferme d'abondantes enclaves de ces sédiments ; mais, tandis que les contacts avec les blocs de schistes et de quartzites enclavés sont généralement nets, de telle sorte que, malgré l'intensité de leur métamorphisme, il est d'ordinaire possible de voir où commence le granite et où finit la roche englobée, les enclaves de calcaires, au contraire, présentent un phénomène fort différent. Jamais on ne les voit en contact avec le granite normal. Toujours elles en sont séparées par une zone d'épaisseur variable, dans laquelle le granite a subi un métamorphisme endomorphe intense. Il se charge de hornblende, de plagioclases basiques, se transforme en granite amphibolique, puis en diorite quartzifère; il perd enfin son orthose, son quartz, pour devenir une diorite micacée basique et parfois même une hornblendite.

Le calcaire a subi consécutivement des modifications exomorphes intenses ; il est transformé soit en marbre à minéraux, soit en cornéenne à pyroxène, amphibole, épidote, feldspaths (plagioclase orthose, microcline), idocrase, grenat, etc. Mais toujours la composition minéralogique et la structure permettent de distinguer l'enclave énallogène métamorphisée de son écorce de granite endomorphisé.

Parfois l'enclave calcaire, préalablement modifiée par les émanations, a été entièrement digérée; il n'en reste plus de traces. Sa place n'est plus marquée que par l'endomorphisme local d'une partie du magma granitique ; elle constitue une *enclave endopolygène*, que l'on pourrait prendre pour une ségrégation du magma granitique ou pour une enclave de diorite, s'il ne m'avait été possible de suivre toutes les étapes du phénomène.

Ces enclaves endopolygènes sont souvent extrêmement

(1) *Bull. du Serv. Carte géolog. de France*, XI, n° 71, 1900, p. 10.

abondantes, constituant l'une des parties essentielles d'une roche bréchiforme à ciment de granite, ou d'une roche riche en parties basiques simulant des traînées (schlieren), dont l'orientation rappelle celle des sédiments voisins.

C'est l'analogie de composition de la bordure du massif granitique au contact des calcaires avec celle des enclaves endopolygènes dans leurs divers stades d'évolution, qui m'a conduit à admettre pour cette bordure basique une origine nettement endomorphe.

Je réserve, du reste, le nom d'enclaves ***endopolygènes*** aux enclaves dans lesquelles la structure et la composition originelles des roches (enclavée et enclavante) qui ont concouru à leur formation ne sont plus distinctes. Aussi les roches de la Somma, servant de gangue à la sarcolite, à la humboldtilite, dont j'ai étudié (1) les divers stades d'endomorphisme, constituent-elles un acheminement vers ce type d'enclaves, sans l'atteindre toutefois. L'étude microscopique permet en effet toujours de saisir les détails de la structure de la roche leucitique originelle, malgré les déformations minéralogiques considérables consécutives de la digestion des fragments de calcaires dont il reste souvent encore des débris dans nombre d'échantillons.

Je donne le nom d'*enclaves exopolygènes* à des enclaves ayant, elles aussi, comme les endopolygènes, l'apparence d'enclaves homœogènes, mais dérivant de roches englobées par un procédé différent. Elles ne résultent pas de l'endomorphisme d'une partie du magma par dissolution dans celui-ci d'une enclave antérieure, mais de l'exomorphisme de celle-ci sous l'influence des fluides minéralisateurs émanés du magma. Deux exemples bien typiques feront comprendre ma pensée.

(1) *Op. cit.*, 281.

Le trachyte à sanidine du roc de Cuzeau au Mont-Dore renferme des enclaves anguleuses de trachytes plus anciens. Il arrive fréquemment (1) que ces enclaves sont séparées du trachyte par une zone, plus ou moins épaisse, d'une sanidinite essentiellement constituée par un feldspath alcalin (orthose et anorthose en associations microperthitiques) en cristaux enchevêtrés miarolitiquement avec des cristaux allongés d'un pyroxène vert, de sphène jaune, et des octaèdres de magnétite.

Tantôt cette sanidinite est très adhérente à l'enclave à laquelle elle passe insensiblement, et tantôt, au contraire, elle s'en détache facilement; l'enclave est alors arrondie, corrodée, et sa surface est moirée de cristaux indistincts appartenant aux espèces qui constituent la sanidinite. Enfin, dans bien des cas, toute trace d'enclave a disparu; la sanidinite exopolygène remplit seule la cavité du trachyte.

Il n'est donc pas douteux que cette sanidinite ne se soit formée par corrosion d'une enclave trachytique : elle offre d'ailleurs une grande analogie de structure avec des agrégats miarolitiques de sanidine, pyroxène, magnétite, etc., qui se forment aux dépens des énormes cristaux de sanidine, de plusieurs centimètres de plus grandes dimensions, qui abondent dans les blocs de trachytes englobés par un autre trachyte dans la brèche de Riveau-Grand (rive gauche de la vallée de la Dordogne, au sud du Mont-Dore).

Le second exemple que je citerai provient des trachytes de Menet (Cantal). J'ai décrit (2) l'extrême abondance, dans ce gisement, d'enclaves homœogènes, constituées par une sanidinite à anorthose, forme grenue du trachyte à anorthose qui les renferme. Les enclaves énallogènes de

(1) *Op. cit.*, 250, et pl. V, *fig.* 7.
(2) *Op. cit.*, 36.

gneiss, de granulites plus ou moins modifiées sont fréquentes.

J'ai trouvé des enclaves de granulite riches en quartz violacé presque transparent, qui se transforment progressivement en agrégats miarolitiques d'orthose et d'anorthose et qui conduisent à des sanidinites ne se différenciant guère des sanidinites normales que par leur richesse en tridymite et par la présence presque constante de quelques débris anciens et particulièrement de quartz. Les enclaves de gneiss transformés sont parfois séparées du trachyte par une zone épaisse d'une sanidinite finement grenue à faciès aplitique.

Ce sont là encore les types caractéristiques d'enclaves exopolygènes.

En résumé, les enclaves polygènes offrent l'apparence, la composition minéralogique et la structure d'enclaves homœogènes dérivant ou pouvant dériver du magma qui les a amenées au jour; mais elles ont comme origine première un fragment étranger à la roche volcanique, soit une enclave énallogène, soit même un fragment de la roche volcanique provenant d'une éruption antérieure.

Tantôt c'est cette enclave qui, digérée par le magma, a endomorphisé une portion de celui-ci; c'est cette portion qui devient alors une enclave endopolygène de la roche éruptive résultant de la consolidation de ce magma.

Tantôt c'est elle qui est entièrement transformée par les émanations issues du magma, sans se disssoudre dans celui-ci. Il en résulte une enclave exopolygène.

Remarquons, du reste, que toutes les enclaves métamorphisées par émanations ne deviennent pas des enclaves exopolygènes : il faut, pour qu'il en soit ainsi, qu'elles aient une composition chimique en quelque sorte *complémentaire* de celle des produits émanés du magma, de telle sorte que le résultat de leur union puisse conduire à un agrégat cris-

tallin de composition analogue à l'un de ceux qui peuvent résulter de la consolidation profonde du magma lui-même.

Considérées sous ce jour, les enclaves polygènes sont donc un cas particulier des phénomènes de contact endo- et exomorphes des roches éruptives.

La distinction précise entre les enclaves endo- et exopolygènes n'est pas toujours aussi facile que dans les cas que j'ai choisis comme exemple, de même qu'il est parfois difficile dans les zones de contact des roches de profondeur de faire la part de l'endo- et de l'exomorphisme dont les résultats se superposent.

ENCLAVES PNEUMATOGÈNES.

Le nom d'*enclaves pneumatogènes* est suffisamment *parlant* pour qu'il soit à peine besoin de le définir. Les enclaves pneumatogènes sont des enclaves ayant, elles aussi, une grande analogie de composition minéralogique et de structure avec des enclaves homœogènes ; elles en diffèrent par leur origine non magmatique, c'est-à-dire qu'elles ne résultent pas, comme elles, de la consolidation d'un magma fondu. Elles sont le résultat de la cristallisation des matières volatiles ou transportables émanées du magma. Leur composition minéralogique et chimique est souvent très différente de celle de la roche qu'ils renferment ; elles sont souvent beaucoup plus acides que cette dernière. Elles constituent donc au point de vue chimique le pôle opposé des ségrégations d'origine magmatique.

Elles se distinguent des enclaves exopolygènes en ce qu'une roche antérieure ne joue aucun rôle dans leur production ou, tout au moins, n'y joue pas le rôle nécessaire.

Leur mode de formation est tout à fait comparable à

celui que je crois avoir démontré(1) pour les filons aplitiques et pegmatiques des zones de contact de Ariège. Je rappellerai donc tout d'abord l'histoire de ceux-ci.

La bande de calcaires paléozoïques, isolée au milieu du granite du Quérigut dont il a été question plus haut, renferme en extrême abondance des filons de roches acides blanches. Je les ai rencontrées dans de très nombreux gisements, sur un parcours d'environ 24 kilomètres; mais elles sont particulièrement fréquentes dans le massif du Roc Blanc de Mijanès. On y voit de hautes falaises de calcaires marmoréens, de cornéennes et surtout de grenatites rouges, traversées par un lacis de filons d'une roche d'un blanc éclatant, dont le grain est tantôt fin comme celui des aplites les plus compactes et tantôt gros comme celui des pegmatites, avec tous les passages intermédiaires; leur épaisseur varie depuis quelques centimètres jusqu'à plusieurs mètres.

Au point de vue de la composition minéralogique, ces filons sont essentiellement constitués par des feldspaths, parmi lesquels domine le microcline, accompagné d'albite, d'oligoclase-albite et de plus ou moins de quartz; le pyroxène (diopside vert) est constant et souvent associé à de la hornblende; enfin, j'ai observé un minéral qui n'a jamais été rencontré dans de semblables roches, la *wollastonite*, disséminée d'une façon aussi régulière que le pyroxène.

Il y a lieu de signaler en outre quelques minéraux accessoires: apatite, zircon, sphène, allanite, épidote et zoïsite. Les éléments blancs dominent, en général, de beaucoup sur les autres minéraux; mais, dans quelques cas, ces derniers se développent en grande quantité, et la roche change de caractère pour passer à des épidotites ou à des pyroxénites

(1) *Comptes rendus*, 17 octobre 1898.

plus ou moins feldspathiques et quartzeuses. La structure de toutes ces roches filoniennes est granulitique.

Ces filons ne peuvent être considérés comme le remplissage de fentes par une dernière poussée du magma granitique. En effet, ils ne traversent pas le granite ni ses formes endomorphes; ils partent directement du contact de celles-ci et des roches métamorphiques. Le passage à la roche éruptive est brusque, et il n'y a souvent, entre les deux roches, aucun minéral commun; c'est ainsi, par exemple, qu'on voit des filons constitués par du microcline, de l'albite, du quartz et du pyroxène, s'appuyer sur une paroi de diorite constituée par de la hornblende, de la biotite et des plagioclases basiques avec une zone de transition ne dépassant pas quelques centimètres.

Il est donc nécessaire d'admettre que ces filons, qui n'existent que dans les contacts granitiques, sont le résultat de transports moléculaires effectués par l'intermédiaire d'agents minéralisateurs ayant accompagné le magma granitique. Cette origine est encore prouvée par les passages insensibles de ces filons à des remplissages incomplets de fentes, dans lesquelles se rencontrent de beaux cristaux de microcline, d'orthose, d'albite, de quartz, d'épidote, etc.

Les quelques minéraux calciques et magnésiens (pyroxène, wollastonite, épidotes) que ces filons renferment en petite quantité résultent de la réaction de la paroi du filon sur les produits volatils ou dissous qui circulaient à sa proximité, et il n'est pas sans intérêt, à ce propos, de remarquer que ce sont eux aussi les minéraux formés dans les sédiments métamorphiques voisins. Ainsi les filons coupant les roches sédimentaires et formés sans aucun doute par apport extérieur à celles-ci, de même que les couches sédimentaires métamorphiques elles-mêmes, tendent d'une façon générale vers une composition minéralogique *qualitativement* semblable;

mais il y a plus : quand l'influence de la paroi a été considérable, au lieu d'être limitée, comme dans la plupart des cas, le remplissage des filons est constitué par des épidotites ou des pyroxénites feldspathiques ou quartzeuses, qui ne diffèrent pas *quantitativement* de celles qui résultent de la transformation des couches sédimentaires.

Revenons maintenant aux roches volcaniques.

Le type des enclaves pneumatogènes peut être pris à la Somma parmi les sanidinites. J'ai montré (1) déjà qu'il est nécessaire de faire une distinction très nette parmi ces agrégats holocristallins, souvent miarolitiques, essentiellement constitués par de la sanidine, qui abondent dans les tufs de la Somma.

Les uns, riches en sodalite, sont sans aucun doute les sanidinites de profondeur des trachytes sodiques, que l'on rencontre en abondance dans les mêmes tufs.

Les autres, au contraire, dont il s'agit plus spécialement ici, ont une composition plus variable. Elles sont caractérisées par la sanidine, le plus souvent associée à la sodalite, à la néphéline, parfois à la leucite. Il n'est pas possible de considérer ces sanidinites très miarolitiques, souvent très riches en sanidine, parfois presque exclusivement formées par ce minéral et alors très acides, comme un produit de consolidation du magma leucitique basique, dont l'éruption les a amenées au jour. On ne les trouve pas, du reste, seulement en blocs, on les observe souvent dans les cavités de calcaires métamorphisés, et il saute aux yeux qu'elles jouent vis-à-vis de ceux-ci le même rôle que les filons aplitiques et pegmatiques vis-à-vis des cornéennes de Quérigut. Comme ceux-ci, elles se réduisent parfois à un simple tapissage de cavités par des cristaux bien formés ; comme eux, elles ren-

(1) *Op. cit.*, 299, 302.

ferment souvent des minéraux calciques et magnésiens (grenats, idocrase, amphibole, etc.), qui sont précisément ceux qui abondent dans la masse même des calcaires métamorphiques.

Enfin, les enclaves que j'ai appelées des blocs mixtes (1) sont formées par l'association de zones essentiellement constituées par les minéraux des sanidinites et d'autres par des minéraux, tels que les humites, dérivant nettement de la transformation (avec apport) des calcaires : c'est là l'équivalent des veinules de Quérigut, dans lesquelles on voit prédominer les minéraux dérivant du calcaire, veinules qui tendent à la composition minéralogique de quelques-uns des calcaires sédimentaires métamorphisés.

Je rapporte à la même catégorie d'enclaves pneumatogènes les sanidinites à sodalite associées à des cornéennes et des calcaires métamorphisés dans les tufs leucitiques de San Angelo, près de Bracciano (Latium). J'y ai rencontré des cavités géodiques tapissées de cristaux de grenat, de pyroxènes, etc., qui indiquent une réaction de la paroi calcaire, au contact de laquelle se sont consolidées ces roches.

Les considérations qui précèdent montrent que l'établissement des groupes des enclaves polygènes et pneumatogènes est légitime et nécessaire : ils ont une grande importance théorique. Aux yeux de beaucoup de pétrographes, toutes les relations existant entre les roches d'une même province pétrographique peuvent et doivent être expliquées uniquement par des phénomènes de différenciation magmatique. Je pense que la nature est plus éclectique et moins exclusive dans ses procédés ; les enclaves étudiées dans cette note en sont une nouvelle preuve.

(1) *Op. cit.*, 307.

Cette étude m'a permis de faire voir, sous une nouvelle forme, la réalité des phénomènes d'endomorphisme (1) et de production de roches, non par cristallisation effectuée directement dans le magma éruptif, mais par émanations dérivant de celui-ci; c'est là, à la vérité, une différenciation, mais s'effectuant par un mode bien différent de celui qui est seul invoqué, une différenciation par départ par voie volatile ou par voie de transport par des fluides.

Les produits étudiés dans ce mémoire sont d'une minime importance comme masse; mais ils prennent leur véritable valeur quand on les met en regard avec les *roches en place*, auxquelles on peut les comparer et dont elles peuvent éclairer l'origine.

Minéraux nouveaux.

Lotrite. — Ce minéral se présente en petits filons dans des chloritoschistes, au voisinage du contact de ces derniers avec la serpentine. Il n'y a pas de cristaux distincts, et le minéral, qui est massif, examiné sous le microscope, se résout en un agrégat de petits grains et de lamelles très réfringentes ($N = 1,67$). Il existe un clivage parallèle à la direction d'allongement.

La biréfringence ne dépasse pas 0,014.

Dans la zone d'allongement l'extinction maximum se fait à 28° de la trace du clivage. $2E = 30°$ et $2V = 18°$ environ. La double réfraction est positive. Le plan des axes est transversal à l'allongement et perpendiculaire au clivage. n_p est parallèle à l'axe *b*.

La densité est 3,23 et la dureté 7,5.

(1) Voir à ce sujet mes mémoires sur le granite des Pyrénées (*Bulletin du Service de la Carte géologique de France*, nos 64 et 715), et sur le gabbro du Pallet (*Id.*, n° 67).

Les résultats d'une analyse sont les suivants :

		Rapp. mol.
SiO^2	38,02	633
Al^2O^3 Fe^2O^3	30,90	303
FeO	0,33	
CaO	23,56	421
MgO	2,80	070
H^2O	6,24	346
	101,85	

La formule

$$4SiO^2, \quad 2(Al, Fe)^2O^3, \quad 3(Ca, Mg)O, \quad 2H^2O$$

représente cette composition, qui ne se rapproche de celle d'aucun minéral connu.

Le nom du minéral est tiré de la localité où il a été découvert (vallée de Lotru). Les roches contenant la lotrite renferment de l'épidote, de la zoïsite, de la clinozoïsite, du grenat, etc. (G. Munteanu-Murgoci, *Ueber die Einschlüsse von Granat-Vesuvianfels in dem Serpentin des Paringu-Massivs. Inaug. Dissertation de l'Université de Munich*, 1901).

Esmeraldaïte. — L'esmeraldaïte forme des masses noires entourées par une matière terreuse, jaune, qui est constituée par de la limonite quartzeuse.

Le minéral a l'éclat vitreux ; il est translucide sur les bords. Il est brillant, a une cassure conchoïdale et donne une rayure brun jaunâtre. La dureté est 2,5 et la densité 2,578.

L'analyse faite par M. W. T. Schaller a donné :

Fe^2O^2, 56,14 ; H^2O à 110°, 15,94 ; H^2O au-dessus de 110°, 10,24 ; Al^2O^3, 5,77 ; CaO, 3,35 ; P^2O^5, 4,49 ; SiO^2, 2,05 ; matières organiques, 1,35. Total : 99,35.

Tous les corps, à l'exception de Fe^2O^3 et H^2O, étant considérés comme des impuretés, on a :

Fe^2O^3, 68,20; H^2O, 31,80. Total: 100.

Ce qui correspond à la formule $Fe^2O^3,4H^2O$.

Le minéral a été trouvé dans le comté d'Esmeralda-Wenada (S. Eakle, *Univ. Calif. Bull. Geol.*, t. II, p. 315 ; 1901).

Pseudomésolite. — Ce minéral est une zéolite, ayant une composition chimique très semblable à celle de la mésolite, mais différant très nettement de cette dernière par ses propriétés optiques.

La pseudomésolite appartient aux systèmes monoclinique ou triclinique; sa fibrosité ne permet pas de préciser davantage le système cristallin. Les fibres du minéral sont disposées en groupes radiés ou parfois irrégulièrement entrelacés. Il existe deux clivages parfaits presque à angle droit qui, par analogie avec la scolésite, sont assimilés aux faces *m* (110).

La densité est 2,215 et la dureté de 4,5 à 5. La fusibilité est 2 environ. La pseudomésolite, lorsqu'elle est pure, a une couleur blanc de porcelaine.

La réfringence est faible, inférieure à celle du labrador. La biréfringence est inférieure à celle de la mésolite et comparable à celle de l'apatite, mais un peu plus faible. La pseudomésolite est biaxe, optiquement positive, et les deux axes sont très rapprochés. L'allongement des fibres est positif, l'angle d'extinction maximum par rapport à la direction d'allongement est de 20°. L'extinction des sections transversales se fait presque suivant les diagonales du rhombe.

La composition est la suivante :

SiO^2, 45.25; Al^2O^3, 25,69; Fe^2O^3, 1,40; MgO, trace; CaO, 9,75; Na^2O, 4,24; K^2O, 0,47; H^2O, 12,99. Total: 99,79.

Elle est représentée par la formule :

$$CaNaAl^2Si^3O^{10} + 2,5H^2O.$$

La pseudomésolite se trouve dans l'anorthosite de Carlton Peak (Minnesota) (ALEXANDER N. WINCHELL, *Etude minéralogique et pétrographique des roches gabbroïques de l'Etat de Minnesota, États-Unis, et plus spécialement des anorthosites.* Thèse Fac. des Sc. de Paris ; 1900).

Baumhauerite. — Sulfoarséniure de plomb $4PbS,3As^2S^3$ de la vallée de Binn. Monoclinique, $\beta = 82^\circ 42' 3/4$.

La description de ce minéral sera publiée dans le *Bulletin* lorsque le mémoire de M. R.-H. Solly, qui a créé l'espèce, sera paru dans *Journ. of. Min. Soc. London* (*Centr. f. Min. Geol. in Pal.*, p. 761 ; 1891, n° 24).

Compte rendu des publications étrangères.

Joh. KŒNIGSBERGER. — Sur la détermination des propriétés optiques des minerais (*Centralblatt f. Min. Geol. und Pal.*, p. 195 ; 1901).

On laisse tomber de la lumière naturelle sur une face cristalline ou sur une face polie. Dans le cas d'un minéral isotrope ou d'une face perpendiculaire à un axe, elle est réfléchie sans être polarisée. Si, au contraire, la substance est anisotrope et la face oblique à un axe optique, la lumière réfléchie est partiellement polarisée. L'auteur, se basant sur ces faits, a construit un microscope pour observer le phénomène.

F. LOEWINSON-LESSING. — Une hypothèse sur l'isomorphisme des feldspaths calcosodiques (*Ibid.*, p. 709).

L'auteur admet que l'albite et l'anorthite ne sont pas isomorphes, mais qu'elles forment une série de sels doubles, qui constituent des mélanges isomorphes les uns avec les autres et peut-être aussi avec les deux molécules de l'albite et de l'anorthite.

Harold HILTON. — Comparaison des différentes désignations qui sont employées dans la théorie de la structure cristalline et revision des 230 groupes de mouvements (*Ibid.*, p. 746).

L'auteur établit des tableaux comparatifs pour les groupes de mouvements donnés par les théories de C. Jordan, L. Sohncke, A. Schœnflies, E. von Fedorow et W. Barlow.

A. DIESELDORFF. — Néphrite dans la roche mère et nouvelle localité de néphrite dans la Nouvelle-Zélande (*Ibid.*, p. 334).

La néphrite a été observée *en place* dans une serpentine qui la contient comme élément essentiel dans l'île d'Urville (Nouvelle-Zélande). C'est la première fois que la néphrite, qui est très abondante dans la Nouvelle-Zélande, a été trouvée dans la roche mère.

J. STRÜVER. — Réaction chimique, à la température ordinaire, entre la hauerite et quelques métaux (*Ibid.*, p. 257).

Les cristaux de hauerite de Raddusa (Sicile), placés dans

la même boîte qu'un morceau d'argent pur, ont agi sur ce dernier. A la suite de cette observation, M. J. Strüver a placé dans la même boîte un cristal de hauerite, une ancienne pièce autrichienne de 10 kreutzer, qui avait été longtemps en usage, et une pièce italienne neuve de 1 franc. La pièce autrichienne avait été, au préalable, nettoyée avec du papier émeri et polie. Au bout de deux mois, la pièce autrichienne était encore intacte, alors que la pièce italienne avait noirci au bout de vingt jours. Une lame d'argent pur commence à brunir en moins d'une heure. Une lame de cuivre assez pur, contenant seulement des traces de fer, noircit en vingt-quatre heures environ.

La réaction qui se produit entre la hauerite et l'argent est indiquée par les formules suivantes :

$$MnS^2 + Ag^2 = MnS + Ag^2S.$$

Au microscope, on peut observer sur la lame d'argent les dendrites de Ag^2S.

Il y a une analogie certaine entre le fait communiqué ici et celui qui a été étudié par M. W. Roberts Austen relativement à la diffusion de l'or et du plomb à la température ordinaire.

GASGUEL. — Les gisements diamantifères de la région sud-est de l'île de Bornéo (Possessions hollandaises) (*Ann. des Mines*, 9ᵉ série, t. XX, p. 5).

Les dépôts diamantifères consistent en une couche de graviers située à une profondeur des plus variables selon le point considéré. Dans les parties hautes des vallées, on la rencontre à quelques décimètres de la surface. La teneur en diamants est très irrégulière. La couche diamantifère repose sur une argile rouge compacte appartenant à l'époque éocène.

L. PRALON. — Note sur le minerai de fer carbonaté de Normandie et sur la calcination des carbonates de fer au four à cuve (*Ann. des Mines*, 9e série, t. IX, p. 125 ; 1901).

L'auteur étudie le minerai de fer des environs de Le Chatellier et de La Ferrière-aux-Etangs (Orne), etc. On l'avait considéré comme formé par des minerais oxydés de l'époque tertiaire. L'auteur montre qu'ils proviennent de l'altération superficielle du carbonate, imparfaitement transformé en hématite par les actions atmosphériques. Ce carbonate est de l'époque silurienne.

M. FROCHOT. — Note sur les gisements de Tipuani (Bolivie) (*Ibid.*, p. 149).

L'auteur étudie les dépôts aurifères de Rio Tipuani et décrit ce qui est relatif à leur exploitation, leur gisement, etc.

M. FROCHOT. — L'étain en Bolivie (*Ibid.*, p. 186).

Les filons d'étain se trouvent, non dans la granulite, mais dans le trachyte et l'andésite, dont l'éruption s'est produite pendant le crétacé supérieur ou au commencement du tertiaire. L'étain peut être ici considéré comme résultant de dépôts dus à des sources minéralisées par les sulfures d'argent, de cuivre, de zinc et de plomb et contemporaines des éruptions crétacées ou tertiaires.

La cassitérite est rarement cristallisée, elle est cryptocristalline. Elle est accompagnée de pyrite, de sulfure d'argent, de galène, de blende, de sulfures d'antimoine, de wolfram, de bismuth et de pyrites arsenicales; les gangues sont formées par le quartz, la barytine, la sidérose. On n'a pu y découvrir, à de rares exceptions près, ni tourmaline, ni topaze, ni fluorine, ni apatite. Une de ces

exceptions s'est présentée dans les filons d'étain de Chorolgie et de Tazna. Dans les premiers, on a trouvé de la tourmaline, et, dans les seconds, on assure qu'il y a de l'apatite, mais rarement.

Fréquemment, l'étain est concentré dans les parties supérieures du filon.

D. Vanhove. — Description cristallographique du quartz de Quenast (Mém. couronnés et Mém. des savants étr. publiés par l'*Ac. roy. de Belgique*, t. LVIII; 1900).

Les cristaux de quartz se trouvent dans une porphyrite, tantôt dans des géodes, tantôt dans des filons. Ils sont d'une couleur brunâtre, transparents ou opaques, et souvent associés à de l'épidote qui est fréquemment englobée par le quartz. Certains cristaux sont pénétrés tantôt d'un grand nombre de filaments d'asbeste qui les rendent opaques, tantôt par de la chlorite (variété helminthe). Ces cristaux sont très riches en faces. Ils sont simples ou maclés, suivant la loi ordinaire des macles du quartz, la loi du Brésil, et suivant la face $\xi = (11\bar{2}2)$.

Le mémoire est très étendu et contient un grand nombre de mesures cristallographiques de toutes les formes observées et de nombreuses figures.

J. Cornet. — Note préliminaire sur la composition des argiles et des limons (*Ann. Soc. géol. Belgique*, t. XXVIII, p. B. 240).

1° L'argile bernissartienne de Maisières, terre réfractaire de première qualité, indépendamment du quartz, contient des microlites de tourmaline et de rutile; on y trouve aussi de l'ilménite, de l'apatite, de la magnétite, de la pyrite, de la chlorite, du mica (*séricite?*) et peut-être de l'anatase.

2° L'argile yprésienne du Cuesmes contient seulement du quartz, de la glauconie, de la pyrite, de la tourmaline, du rutile et du zircon.

3° Dans les limons quaternaires, on trouve beaucoup de quartz et des minéraux communs, comme le mica, la glauconie, la limonite, et de la tourmaline, du rutile, du zircon. Le limon du quaternaire supérieur, riche en quartz très fin, contient du zircon, de la tourmaline, de l'apatite et un peu de rutile.

H. Buttgenbach. — Phénomènes de biréfraction produits par percussion sur la blende (*Ibid.*, p. M. 92).

L'auteur décrit, dans tous ses détails, le phénomène qui se produit lorsqu'une légère percussion est produite sur la blende. Il y a formation de deux bandes biréfringentes se coupant au point où la pointe a touché la lame de clivage, et perpendiculaires aux arêtes du dodécaèdre rhomboïdal. Ce fait, très intéressant au point de vue de la théorie des anomalies optiques, a été signalé par R. Brauns, *Die optischen Anomalien* (Voir *Bull.*, t. XIV, p. 302. 1891).

H.-N. Stokes. — Sur la pyrite et la marcasite (*Am. Journ. of Sc.*, 4e série, vol. XII, p. 414).

M. Penfield a décrit une méthode pour distinguer la pyrite de la marcasite ; elle est basée sur le fait que le second minéral donne seul du soufre avec l'acide nitrique bouillant. Ce procédé ne peut être employé pour déceler la pyrite en présence de la marcasite. En étudiant l'action des sels de fer sur les sulfures métalliques, l'auteur est arrivé à trouver un procédé pour distinguer les deux minéraux.

Les sels ferriques oxydent le soufre de la pyrite et le

transforment en acide sulfurique, fait observé par de Koninck et par d'autres observateurs, mais aucune mesure quantitative n'avait été faite. L'auteur a montré que le pourcentage de la quantité de soufre oxydé était constant pour chaque minéral, mais qu'il existe une grande différence entre la marcasite et la pyrite. Pour la pyrite, ce pourcentage, que l'auteur appelle coefficient d'oxydation, varie de 60 à 61, avec une moyenne de 60,4, alors que, pour la marcasite, il est de 16,5 à 18.

M. H.-N. Stokes explique de la façon suivante les différences du coefficient d'oxydation constaté dans les deux cas. Les molécules de FeS^2 sont attaquées par un réactif qui oxyde plus rapidement le fer que le soufre. La vitesse de dissolution de la pyrite est plus grande que la vitesse d'oxydation du soufre, aussi une partie de ce dernier (40 0/0) n'est pas oxydée.

La marcasite se dissolvant encore plus rapidement, une quantité plus grande de soufre échappe à l'oxydation (82 0/0). Le fait observé par Penfield s'explique de la même manière. L'auteur se propose d'employer cette méthode pour distinguer d'autres corps dimorphes.

Chr. Hoffmann. — Sur de nouveaux gisements de minéraux du Canada (*Ibid.*, p. 447).

Datolite. — Ce minéral se trouve en masses compactes dans la mine de mica Daisy, Derry, Ottowa Cty, province de Québec. La densité à 15°,5 est de 2,985. La composition est la suivante :

SiO^2, 36,94 ; B^2O^3, 22,37 ; CaO, 34,90 ; Al^2O^3, 0,12 ;
Fe^2O^3, 0,02 ; MgO, 0,05 ; H^2O, 5,68.

Faujasite. — Cette zéolite se rencontre dans la même

localité que la datolite. Elle est en octaèdres implantés sur du quartz et est associée à de la fluorine. Les cristaux atteignent à peine 2 millimètres de diamètre.

W.-Harvey Mc Nairn. — Sur un grand cristal de phlogopite (*Ibid.*, p. 398).

Ce cristal, le plus grand qui soit connu, a $1,5 \times 2 \times 5$ mètres. Il a été trouvé dans une mine de mica, près de Sydenham, Frontenac Co, Ontario, à 30 mètres de profondeur, dans un filon traversant une pyroxénite.

A.-F. Rogers. — Liste des formes des cristaux de calcite avec les angles des faces (*The School of Mines Quat.*, vol. XXII, juillet 1901, n° 4).

Cette liste comprend toutes les formes de la calcite avec le nom de l'auteur qui les a signalées pour la première fois. 280 formes certaines sont mentionnées et 139 incertaines.

A.-F. Rogers. — Liste des minéraux disposés suivant les trente-deux classes cristallines (*Ibid.*, nov. 1901, n° 1).

L'auteur donne la liste des minéraux rentrant dans chacune des trente-deux classes. Pour les minéraux dont la symétrie a été établie depuis quelques années seulement, l'indication bibliographique est donnée.

C. van Eyk. — Sur la formation et les métamorphoses des cristaux mixtes de nitrate de potassium et de nitrate de thallium (*Arch. néerl. des sciences exactes et naturelles*, série II, t. IV, p. 118; 1901).

Le travail donne un aperçu complet des phénomènes de solidification de tous les mélanges de $KAzO^3$ et $TlAzO^3$.

La solidification s'accomplit entre les points de fusion des deux constituants : 339° et 206°, et un point eutectique, correspondant à 182° et 31 0/0 mol. $KAzO^3$. On obtient comme produit de solidification une série de mélanges rhomboédriques continus de 0 jusqu'à 20 0/0 mol. $KAzO^3$ et une deuxième analogue de 50 jusqu'à 100 0/0 ; des valeurs intermédiaires sont des conglomérats des cristaux mixtes limites de 20 à 50 0/0 $KAzO^3$.

La même transformation de cristaux rhomboédriques en rhombiques, que subit le $KAzO^3$ à 129°, a lieu pour $TlAzO^3$ à 144°.

Les cristaux mixtes passent également à diverses températures du type rhomboédrique au type rhombique : la série continue des mélanges du côté de $TlAzO^3$, de 144° à 133° ; du côté de $KAzO^3$, de 129° à 108°,5. Toutes ces transformations s'étendent sur un certain intervalle de température.

Il y a, en revanche, deux températures de transformation pour les conglomérats. La première correspond à 133°, où les conglomérats de deux sortes de cristaux rhomboédriques se transforment en un conglomérat de cristaux rhombiques et rhomboédriques, la deuxième à 108°,5, où ce conglomérat se transforme en un conglomérat de deux espèces de cristaux rhombiques.

D'ailleurs, les concentrations des cristaux mixtes dans les conglomérats varient avec la température.

Le présent travail offre le premier exemple du type de transformation IV de M. Bakhuis Roozeboom.

Le mémoire contient un grand nombre de résultats numériques et plusieurs tracés graphiques pour démontrer les conclusions résumées ci-dessus.

F.-W. Clarke et N.-H. Darton. — Sur un hydromica de New-Jersey (*Bull. of the Unit.-States Geol. Survey*, n° 167, p. 156; 1901).

Le mica est en petites lamelles de couleur bronzée et se trouve à Rocken Hill, en filons dans de la calcite.

Sa composition est différente de celle des micas connus.

L'analyse faite par M. Steiger a donné les résultats suivants, déduction faite du carbonate de chaux et des impuretés :

SiO^2, 40,24 ; Al^2O^3, 10,34 ; Fe^2O^3, 24,57 ; FeO, 5,21 ; MgO, 6,78 ; K^2O, 2,20; H^2O à 100°, 3,03 ; H^2O au-dessus de 100°, 7,63. Total : 100.

En somme, ce mica peut être considéré comme formé de 9 molécules de muscovite et 5 de phlogopite.

La très grande proportion de sesquioxyde de fer est très caractéristique de la composition de ce mica et donne l'idée d'une muscovite ferrifère.

F.-W. Clarke. — Les réactions alcalines de quelques silicates naturels (*Ibid.*, p. 156).

Pour déterminer la réaction alcaline des minéraux, l'auteur emploie la phénolphtaléine. La coloration la plus intense est donnée par la pectolite et l'apophyllite.

G. Steiger. — La solubilité dans l'eau de certains silicates naturels (*Ibid.*, p. 159).

L'auteur a déterminé la quantité d'alcalis qui est dissoute.

Les silicates qui donnent les colorations les plus intenses avec la phénolphtaléine sont ceux qui se donnent le plus d'alcalis, lorsqu'ils sont attaqués par l'eau.

A. Dieseldorff. — Sur la question de la mélonite (*Cent. f. Min.*, n° 6, 1901 ; p. 168).

Le nom de mélonite a été donné, en 1868, par Genth, au tellurure de nickel Ni^2Te^3. M. Dieseldorff confirme les observations de Hillebrand sur les échantillons de Californie, lequel a trouvé que la mélonite correspond à $NiTe^2$. Ce fait a aussi été constaté par M. Goyder.

Les analyses faites sur les échantillons d'Australie par M. Georgi ont donné les résultats suivants :

Te, 80,17 ; Ni, 16,73 ; Co, 0,75 ; Fe, 1,33. Total : 98,98.

Le tellure est remplacé par une petite quantité de sélénium (jusqu'à 3 0/0).

La densité est 7,36.

La mélonite appartient, sans doute, au groupe de la sylvanite.

J.-L.-C. Schroeder van der Kolk. — La rayure des minerais opaques (*Centr. f. Min. Geol. und Pal.*, p. 75 ; 1901).

Le procédé préconisé par l'auteur pour obtenir les rayures caractéristiques des minéraux consiste à tracer une raie avec le minéral à essayer, sur une plaque en biscuit, et à étendre cette raie avec une autre plaque. Le moyen le plus commode pour arriver à cet effet est de frotter la

rayure, avec un angle de la deuxième plaque, perpendiculairement à la direction de cette dernière.

La poussière du minéral est ainsi excessivement fine, et la couleur présente des différences plus marquées avec les divers minéraux.

L'auteur donne la couleur de la rayure, ainsi obtenue, de tous les minéraux métalliques opaques.

C. Dœlter. — Sur la détermination des points de fusion des minéraux et des roches (*Tschermak's Mitt.*, t. XX, p. 210 ; 1901).

Les points de fusion ont été déterminés au moyen des méthodes pyrométriques dans des tubes fermés ou dans des tubes ouverts.

Pour abréger, la première méthode est désignée par A et la seconde par B. T_1 se rapporte à la température de fusion ; T_2 est le point où le liquide est complètement fluide, et T_3, la température de solidification.

Pyroxènes. — L'*enstatite* de Bamle fond vers 1.400°.

La *bronzite* de Kraubath entre en fusion vers 1.330°.

L'*hypersthène* de Saint-Paul donne, avec la méthode A, T_1 = 1.185°, et, d'après B, 1.195°.

La *wollastonite* de Cziklova fond au-dessus de 1.232°.

L'*augite* de Sasbach donne, pour T_1, 1.070°.

Pour l'*augite* d'Arendal, on a avec A, T_1 = 1.072°, et, avec B, 1065°.

L'*augite* de Ribeira das Patas (Cap Vert) donne, avec la méthode B, T_1 = 1.073°.

Le *diallage* de Le Prese donne avec les différentes méthodes T_1 = 1.060° — 1.070°, T_2 = 1.080° — 1.090°, T_3 = 1.020° jusqu'à 1.040°.

L'*augite* de Garza fond de 1.040° à 1.070°. La méthode pyrométrique donne T_1 1.055°.

L'*augite* de Siderað sodifère fond entre 1.020° et 1.040.

L'*œgirine* de Langensundfjörd a donné, avec A, $T_1 = 915°$, $T_2 = 995°$.

Le *spodumène* de Sterling donne pour T_1 925° avec les méthodes directes.

Amphiboles. — *Hornblende* de Lukow. Méthode A, $T_1 = 1022°$; méthode B, $T_1 = 1.030°$. La moyenne des mesures a donné : $T_1 = 1.025°$, $T_2 = 1.060°$, $T_3 = 1.020°$ à 1.025°.

Gastaldite de Saint-Marcel. $T_1 = 1.015°$, $T_2 = 1.035°$.

Actinote verte de Pfitsch. $T_1 = 1.230°$.

Feldspaths. — *Adulaire* de Saint-Gothard. Méthode A, $T_1 = 1.158°$; méthode B, $T_1 = 1.148°$, $T_2 = 1.170°$.

Microcline de Pikes-Peak. $T_1 = 1.147°$, $T_2 = 1.172°$ d'après la méthode B.

Sanidine de Drachenfels. 1.120° d'après la méthode A.

Les feldspaths calcosodiques diffèrent très peu entre eux par leur point de fusion.

Albite de Pfitsch. La moyenne des mesures a donné : $T_1 = 1.099°,5$, $T_2 = 1.125°$, $T_3 = 1.093°$.

Oligoclase de Bakerville. 1.110°.

Labrador de Kiew. La moyenne de sept déterminations a donné : 1.200° par la méthode B et 1.117° par la méthode A.

Anorthite du Vésuve. 1.110°.

Des expériences sur la fusibilité de l'albite et de l'anorthite ont été faites pour rechercher lequel des deux minéraux était le plus fusible, en les chauffant dans les mêmes conditions. C'est l'albite qui est le plus fusible. Les feldspaths rangés suivant leur point de fusion se disposent d'après leur densité. Le point de fusion s'élève régulièrement de l'albite à l'anorthite.

Leucite du Vésuve. 1.300°.

Eléolite de Norvège. La méthode B donne: $T_1 = 1.045°$, $T_2 = 1.090°$, $T_3 = 1.020°$.

Néphéline de la Somma. Les résultats ne sont pas précis à cause des inclusions. D'après la méthode A, $T_1 = 1.035°$, $T_2 = 1.115°$.

Méionite du Vésuve. $T_1 = 1156°$ d'après la méthode B.

Sarcolite du Vésuve. $T_1 = 1.151°$ et $T_2 = 1.170°$ d'après la méthode B.

Micas. — *Meroxène* du Vésuve. $T_1 = 1.225°$ et $T_2 = 1.255°$ d'après la méthode A.

Biotite de Miasc. $T_1 = 1.115°$ (méthode A) ; $T_1 = 1.110°$, $T_2 = 1170°$ (méthode B).

Muscovite de New-Hampshire. $T_1 = 1.202°$ (méthode A).

Lépidolite de Rozena. $T_1 = 900°$.

Olivine. — *Olivine* de Kapfenstein (Steiermark). 1.250°.

Olivine du Vésuve. $T_1 = 1.380°$.

Olivine d'une bombe, mélangée de biotite et de pyroxène. $T_1 = 1.140°$, $T_2 = 1.180°$, $T_3 = 1.120°$.

Grenats. — *Almandin* de Radenthein. $T_1 = 1.077°$.

Grossulaire de Auerbach. $T_1 = 1.090°$.

Grossulaire de Rezbanya. $T_1 = 1.099°$.

Almandin de Traversella. $T_1 = 1.072$ à $1.078°$, $T_2 = 1.090°$.

Mélanite de Frascati. $T_1 = 900$ à $920°$, $T_2 = 940°$, $T_3 = 900°$.

Magnétite de Morawitza. $T_1 = 1.155°$.

Spinelle de Orange City. $T_1 = 1.240°$.

Zoïsite. 1.080°.

Tourmaline de Uebelbach. 1.020°.

Mésotype de Hohentwiel. 910°.

Analcime. 875 à 879°.

Sodalite de Ditrö. $T_1 =$ environ 915°.

La plupart des minéraux formant les roches fondent donc

entre 1.000 et 1.300°. Dans le même groupe, les minéraux ferrifères sont les plus fusibles. Le potassium, contrairement au sodium, élève le point de fusion. Le lithium abaisse le point de fusion dans les augites et les micas. Le magnésium élève celui des pyroxènes, tandis que le calcium l'abaisse.

L'auteur donne ensuite le point de fusion des roches.

	SiO^2	Ramollissement	Fluidité
Granite (Bachergebirge). . .	69,4	1.230°	»
Granite (Redzo)	71,56	1.150°	1.240°
Monzonite.	52	1.115°	1.190°
Phonolite, Tephtz.	56,16	1.010°	1.070°
Lave du Vésuve	48,12	1.030°	1.080°
Leucitite, Tepo.	48,46	1.040°	1.070°
Lave de l'Etna	48,50	962°	1.010°
Basalte, Remagen	43,60	992°	1.060°
Limburgite, Kaiserstuhl . . .	42,78	995°	1.050°

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

DES TRAVAUX ORIGINAUX PUBLIÉS DANS LE TOME XXIV.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET ANALYTIQUE

DES MATIÈRES

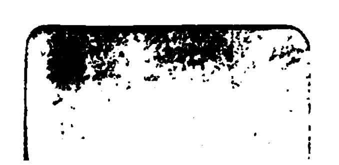
CONTENUES DANS LE TOME XXIV

ABRÉVIATIONS USITÉES DANS CETTE TABLE

An.	Analyse.	*F. pr.*	Forme primitive.
Const.	Constitution.	*Min. nouv.*	Minéral nouveau.
Reprod.	Reproduction.	*Opt.*	Étude optique.
Crist.	Étude cristallographique.		

A

B



O

P

R

V

W-X

Le Secrétaire, gérant,

Paul GAUBERT.

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.